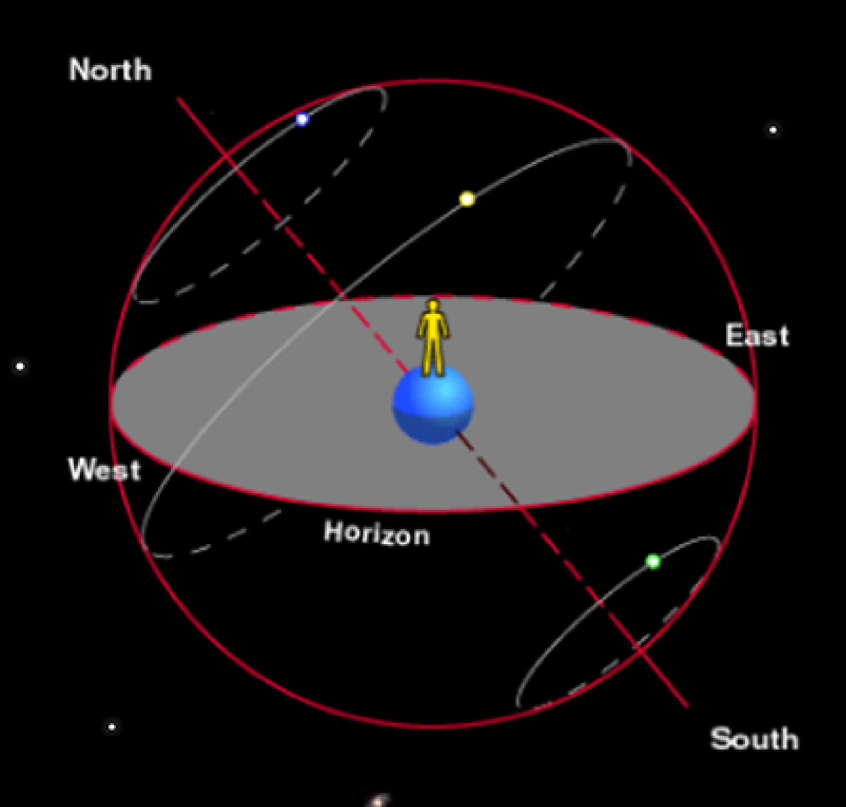
الفلــك الكــروي



1.00273790935

1.00273790935

1.00273790935

1.00273790935

أحمـد محمـد الأنصاري

مقدمـة

يعتبر الفلك الكروي أحد فروع علم الفلك، والذي يبحث في وصف وتحديد مواقع الأجرام السماوية في السماء، وهو يعتمد بشكل مباشر على الطرق الرياضية والمثلثات الكروية، وقياسات الأرصاد الفلكية.

ويعد علم الفلك الكروي من العلوم القديمة، فقد عرف واستخدم منذ القدم في الكثير من التطبيقات الفلكية، التي كانت تعين الإنسان في حياته، ومن هذه التطبيقات على سبيل المثال لا الحصر حساب الوقت، ومعرفة المواقيت الفلكية المختلفة، سواء المدنية منها أو الدينية، بالإضافة إلى الملاحة، والإهتداء في البر والبحر، وعلى ذلك قام الفلكيين القدامى برصد وقياس النجوم لمعرفة إحداثياتها، وكذلك فعلوا مع الشمس والقمر والكواكب، ووضعوها في جداول، وصنعوا لأجلها الأزياج الفلكية.

يأتي هذا الكتاب كإضافة جديدة إلى المكتبة العربية، ليساهم ولو بالقليل في شرح جزء من هذا العلم، ولقد جعلته في ثمانية فصول، تناول كل فصل منها جانب محدد من جوانب الفلك الكروي.

ففي الفصل الأول تعرضنا لمفهوم الكرة السماوية، وبعض المفاهيم والمصطلحات الفلكية المرتبطة بها والتي تعتبر من الأساسيات في فهم نظام السماء، كما تعرضنا كذلك لأنواع الإحداثيات السماوية التي تصف وتحدد مواضع الأجرام السماوية في السماء، ولقد عمدنا إلى الإستعانة بالرسومات التوضيحية جنباً إلى جنب مع كل شرح وتعريف إيماناً منا بأهمية الرسومات في فهم التعريفات وتصورها على صفحة السماء.

وتعرض الفصل الثاني إلى طريقة عمل الإسقاط الفلكي للكرة السماوية، حيث رأينا في ذلك أفضل وسيلة في فهم وتصور مشاهد السماء، وقد إخترنا الإسقاط الزوالي والإسقاط الأفقي.

أما الفصل الثالث فقد خصص لجمع إحداثيات ثلاثمائة نجم من النجوم اللامعة كما جاءت في التقويم الفلكي، والتي يمكن مشاهدتها من منطقتنا الجغرافية، وقد حرصنا في تعيين أسماء هذه النجوم سواء بأسماءها المعروفة أو من خلال التسميات الحديثة المستخدمة في التقاويم، وقد

إرتجلت في وصف وتسمية البعض القليل منها مما لم أجد لها إسماً في المراجع التي أعرف، فقد وصفتها بحسب موضعها في السماء. ولا يفوتني هنا إلا أن ألتمس العذر مقدماً من القاريء الكريم فيما لو وجد خطأً في تسميات بعض النجوم الواردة، لما في هذا الموضوع من تشابك ولبس لا يخفي على الباحث المختص في هذا المجال.

وفي الفصل الرابع تطرقنا لموضوع المثلث الكروي، لما وجدنا فيه من أهمية عظمى في كثير من الحسابات والتطبيقات الفلكية. فتطرقنا لمفهوم المثلث الكروي وأهم خصائصة الهندسية، كما شرحنا طرق حله باستخدام المعادلات الرياضية في سبعة حالات مختلفة لابد للحاسب الفلكي من التعرض لها.

وقد خصص الفصل الخامس لعدة مواضيع مهمة في فهم حركة الأجرام السماوية، فقد تناول هذا الفصل كل من الحركة الظاهرية اليومية للأجرام السماوية كما تشاهد من مواضع مختلفه على سطح الأرض، بالإضافة إلى بعض أهم الظواهر الفلكية التي تحدث نتيجة تلك الحركة مع بيان شروط حدوثها وتحققها بالنسبة للراصد.

تعرض الفصل السادس لمسألة التوقيت وحساب الزمن، حيث بدأ هذا الفصل بمسألة البحث عن وحدة القياس المناسبة لقياس الوقت، كما تناول أهم المصطلحات والتعريفات المرتبطة بهذا الموضوع، والعلاقات الرياضية التي تربط بعضها ببعض، وقبل ذلك تعرض هذا الفصل وبشكل موجز إلى شرح حركة الكرة الأرضية وتبعات هذه الحركة.

في الفصل السابع والذي يضم مجموعة من التطبيقات الفلكية المتنوعة باسخدام قوانين المثلث الكروي التي سبق ذكرها في الفصل الرابع من الكتاب، حيث يمكن للراصد من خلالها تعلم بعض الحسابات والأرصاد التي يقوم بها الفلكيين ومحاولة تطبيقها بنفسه من خلال إستخدام أدوات الرصد المختلفة.

أما الفصل الثامن والأخير فقد خصص لشرح وحساب مواقيت شروق وغروب وتوسط الأجرام السماوية، بالإضافة إلى تطرقه لموضوع الشفق وبيان أسبابه وذكر أنواعه، وكذلك تطرق هذا الفصل إلى موضوع طول النهار وتغيره على مدار أيام السنة، وتناول أيضاً بعض المفاهيم المتعلقة بأيام الإعتدال ومحاولة شرحها بشيء من التفصيل والإسهاب.

كما إشتملت جميع فصول الكتاب تقريباً على تطبيقات وتمارين محلولة تساعد القاريء في فهم واستيعاب محتويات تلك الفصول.

وفي الختام لا يسعني إلا أن أتقدم بالشكر إلى كل من ساهم في إعداد هذا الكتاب، وأخص بالذكر الإستاذ الفلكي سالم عمر الجعيدي لما قدمه لي من توجيه وإرشاد وإيضاح في بعض المسائل الحسابية الدقيقة فله مني جزيل الشكر والإمتنان.

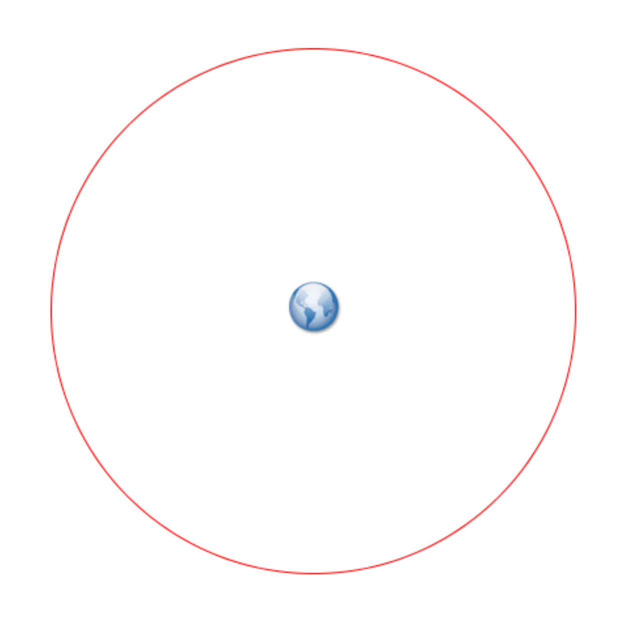
أحمد محمد الأنصاري

الكويت 2015

الفصل الأول

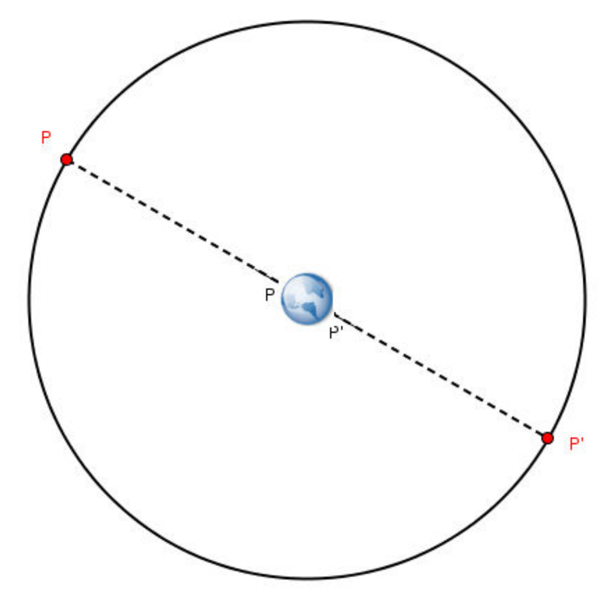
جغرافيا الكرة السماوية

الكرة السماوية
Celestial Sphere

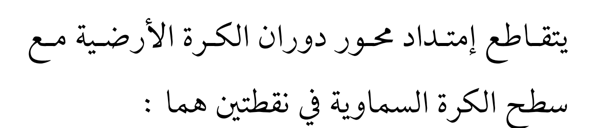


يفترض بأن الكرة الأرضية تقبع وسط كرة تخيلية ضــخمة ذات قطـر لانهـائي مركزهـا هـو مركـز الكـرة الأرض بحيـث تحيط بـالارض مـن جميـع الجهـات ويفـترض كـذلك بـأن جميـع الأجـرام الـسماوية تتحـرك علـى الـسطح الـداخلي لهـذه الكرة وعلـى درجة واحـدة من البعد ، وللنـاظر إلى الــسماء مــن أي موقــع علــى ســطح الكــرة الأرضية تبدو له على هيئة قبة ضخمة .

الأقطاب السماوية
Celestial Poles



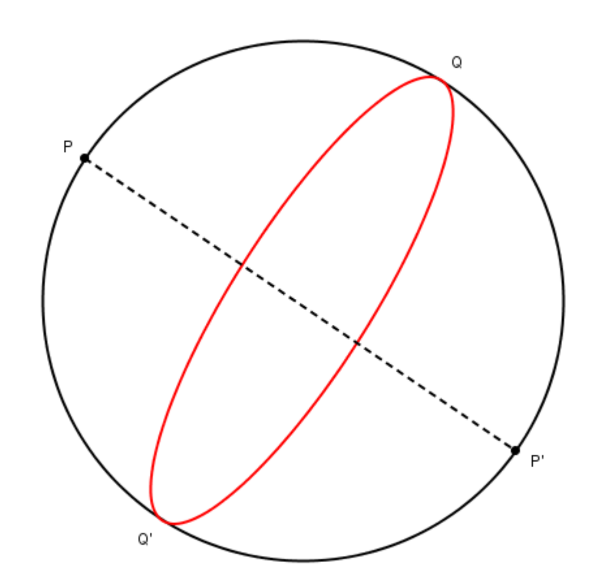
يتقـاطع إمتـداد محـور دوران الكـرة الأرضـية مـع سطح الكرة السماوية في نقطتين هما :



- القطب السماوي الشمالي P
- القطب السماوي الجنوبي P'

ونتيجة لدوران الكرة الأرضية حول محورها من الغــرب إلى الــشرق مــرة كــل يــوم فــإن الكــرة السماوية تبدو وكأنها تدور بما تتضمنه من أجرام سماوية من الـشرق إلى الغـرب حـول هـذا المحـور السماوي ، ويطلق على هذه الحركة إسم الحركة الظاهرية اليومية للأجرام السماوية .

خط الإستواء السماوي
Celestial Equator

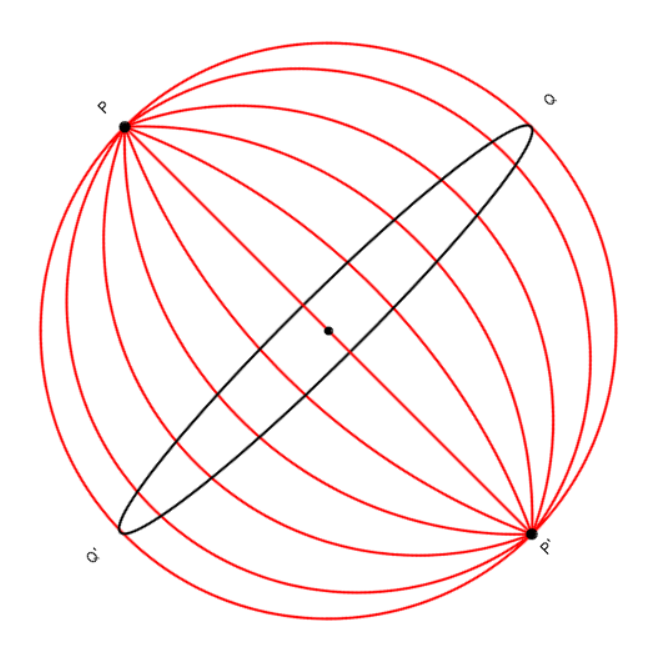


عبارة عن دائرة عظمى على سطح الكرة السماوية تقسمها إلى نصفين متساويين هما :

- نصف الكرة السماوية الشمالي
- نصف الكرة السماوية الجنوبي

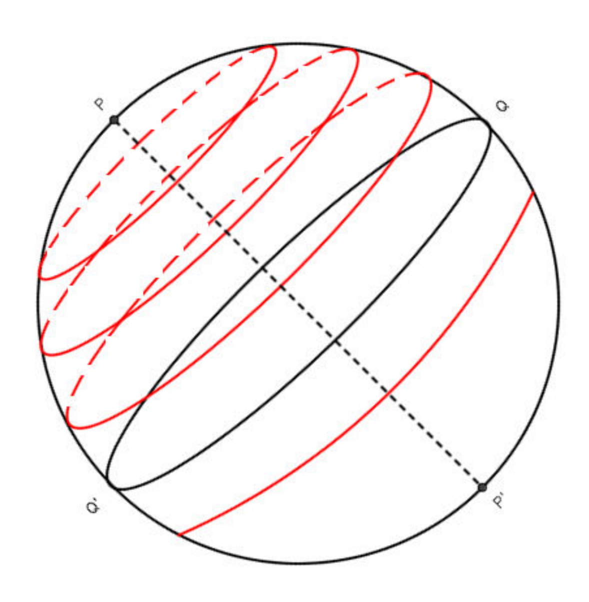
ويصنع خط الإستواء السماوي Q Q' زاوية قائمة مع محور الدوران P P'، ويعتبر خط الإستواء السماوي إسقاط لخط الإستواء الجغرافي على الكرة السماوية .

دوائر الزوال السماوية
Celestial Meridians



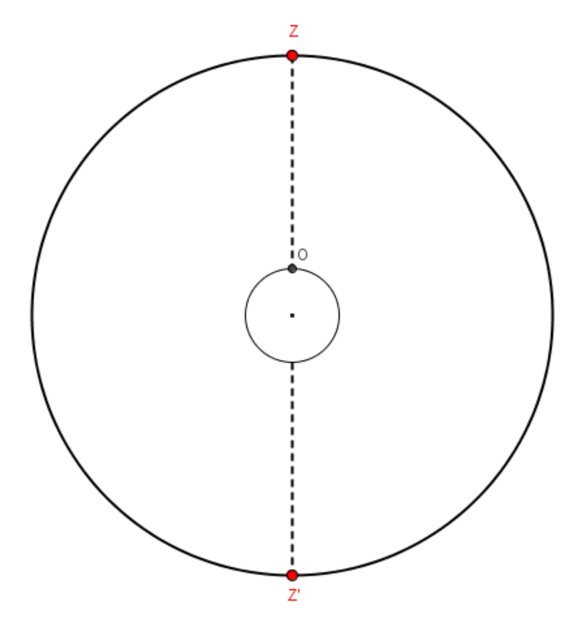
تعرف أنصاف الدوائر العظمى على سطح الكرة السماوية والتي تصل بين قطبي الكرة السماوية P P' بأنها دوائر الزوال أو الدوائر الساعية HA وهي عمودية على خط الإستواء السماوي QQ'، وتعتبر دوائر الزوال السماوية إسقاط لخطوط الطول الجغرافية على الكرة السماوية .

موازيات الميل
Parallels of Declinations



عبارة عن دوائر صغرى على سطح الكرة السماوية موازية لخط الاستواء السماوي QQ' وبالتالي فهي تصنع زاوية قائمة مع محور الدوران P P' كما تمثل المسارات اليومية الظاهرية للأجرام السماوية ، وتعتبر موازيات الميل إسقاط لخطوط العرض الجغرافية على الكرة السماوية .

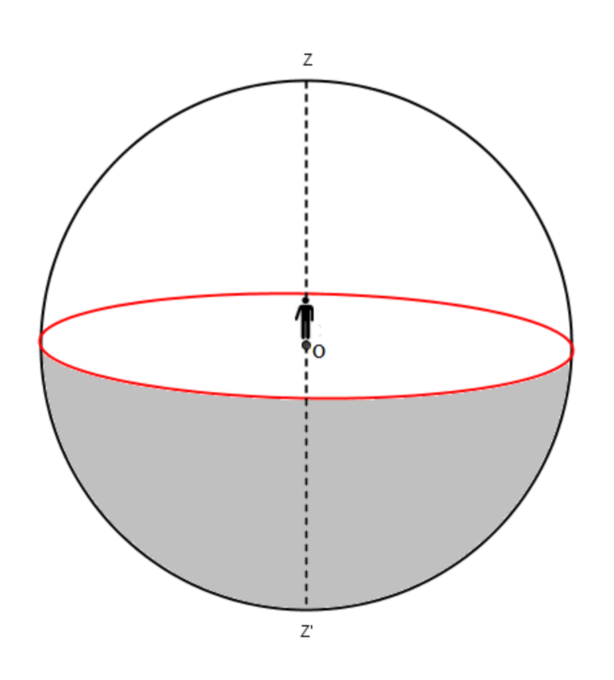
السمت والنظير
Zenith & Nadir



يتقاطع إمتداد نصف قطر الكرة الأرضية المار بالراصد O مع الكرة السماوية في نقطتين هما :

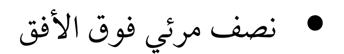
- نقطة السمت Z أعلى نقطة فوق الراصد
- نقطة النظير Z' أسفل نقطه باتجاه الشاقول

ويتغير موضع نقطتي السمت والنظير بتغير موقع الراصد على سطح الكرة الأرضية .



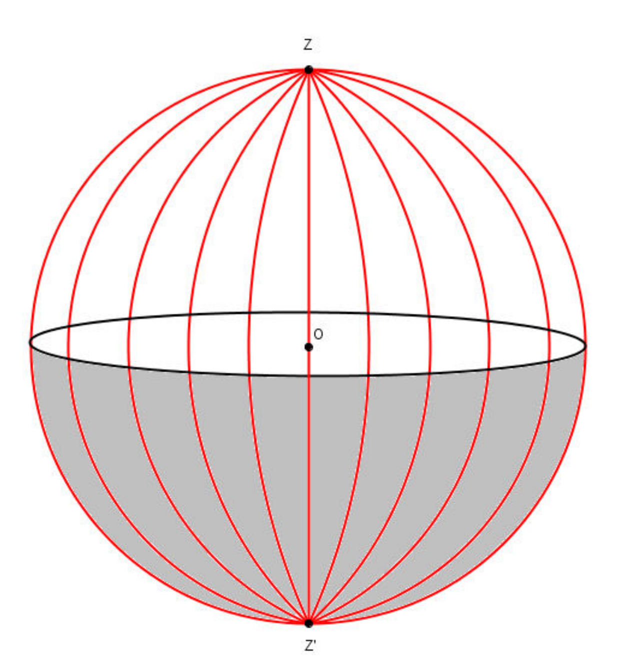
دائرة الافق
Horizon Circle

تعرف الدائرة العظمى على سطح الكرة السماوية التي مركزها الراصد O والتي تصنع زاوية قائمة مع الخط الواصل بين نقطتي السمت والنظير ZZ' بأنها دائرة الافق وهي تقسم الكرة السماوية إلى نصفين هما :



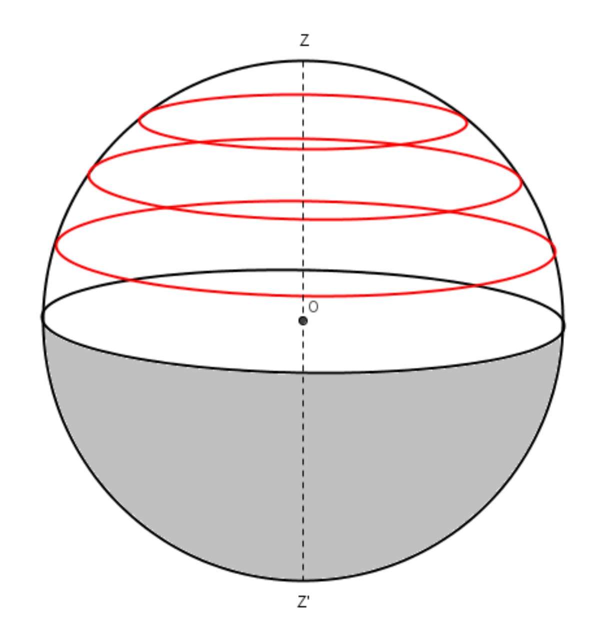
- نصف مرئي فوق الأفق
- نصف غير مرئي أسفل الأفق

وتتغير دائرة أفق الراصد بتغير موقعه على سطح الكرة الأرضية .



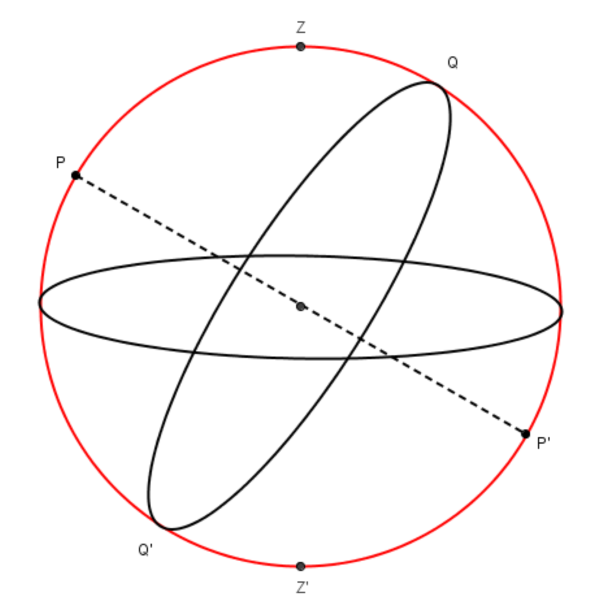
الدوائر الرأسية
Vertical Circles

عبارة عن أنصاف دوائر عظمى على سطح الكرة السماوية تصل بين نقطتي السمت والنظير ZZ' وتصنع زاوية قائمة مع دائرة الافق .



موازيات الإرتفاع
Parallels of Altitudes

عبارة عن دوائر صغرى على سطح الكرة السماوية موازية لدائرة الافق وبالتالي فهي تصنع زاوية قائمة مع الخط الواصل بين نقطتي السمت والنظير ZZ'.



دائرة زوال الراصد
Observer's Meridian

عبارة عن دائرة عظمى على سطح الكرة السماوية تصل بين قطبي الكرة السماوية P P' ونقطتي السمت والنظير ZZ' وهي تنقسم إلى قسمين :



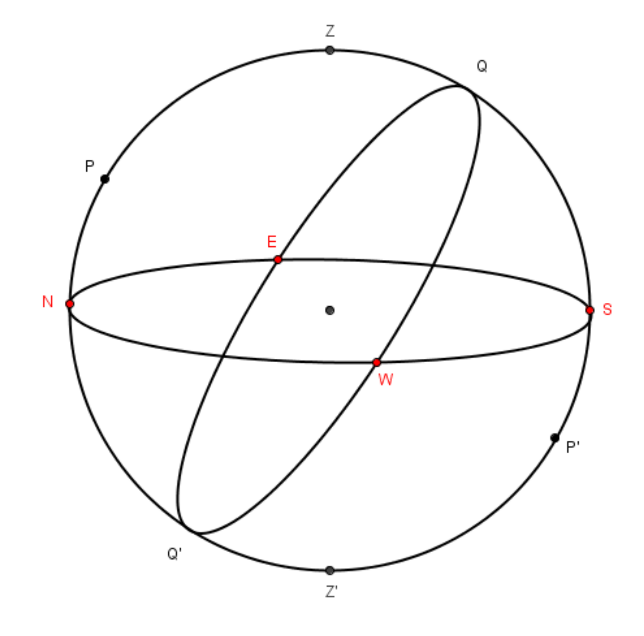
- خط زوال الراصد العلوي PZP'
- خط زوال الراصد السفلي PZ'P'

الدائرة الرأسية الرئيسية
Principle Vertical Circle

تعرف الدائرة العظمى على سطح الكرة السماوية والتي تصل بين قطبي الكرة السماوية P P' ونقطتي السمت والنظير ZZ' بانها الدائرة الرأسية الرئيسية وهي تقسم الكرة السماوية إلى نصفين هما :

- نصف شرقي E
- نصف غربي W

وهي نفسها دائرة زوال الراصد .



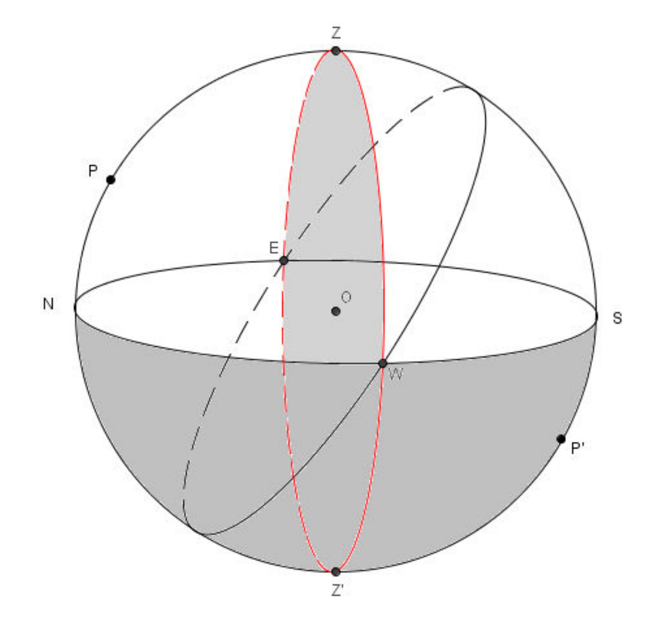
نقاط الإتجاهات الأصلية
Cardinal Points

تتقاطع الدائرة الرأسية الرئيسية أو دائرة زوال الراصد مع دائرة الافق في نقطتين هما :

- نقطة الشمال N وهي النقطة الاقرب إلى القطب السماوي الشمالي P .
- نقطة الجنوب S وهي النقطة الاقرب إلى القطب السماوي الجنوبي P' .

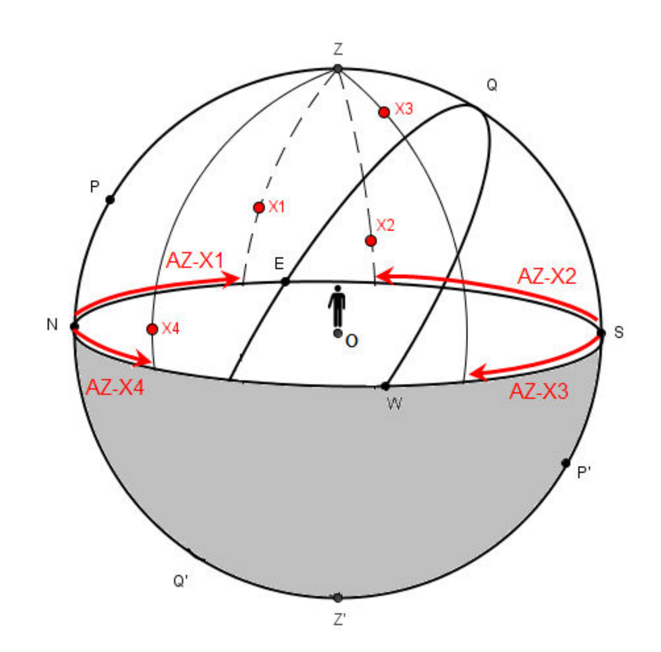
وتقع نقطتي الشرق E والغرب W على دائرة الافق بحسب الترتيب المعروف بحيث تكون نقطة الشرق E على يمين الراصد المواجه لنقطة الشمال N، والغرب W على يساره .

الدائرة الرأسية الاولى
Prime Vertical Circle



عبارة عن دائرة عظمى على سطح الكرة السماوية ، تصل بين نقطتي السمت والنظير 'ZZ، وتقطع دائرة الأفق عند نقطتين نقطة الشرق E والغرب W ، وهي عمودية على كل من دائرة الافق والدائرة الرأسية الرئيسية .

الزاوية السمتية
Azimuth



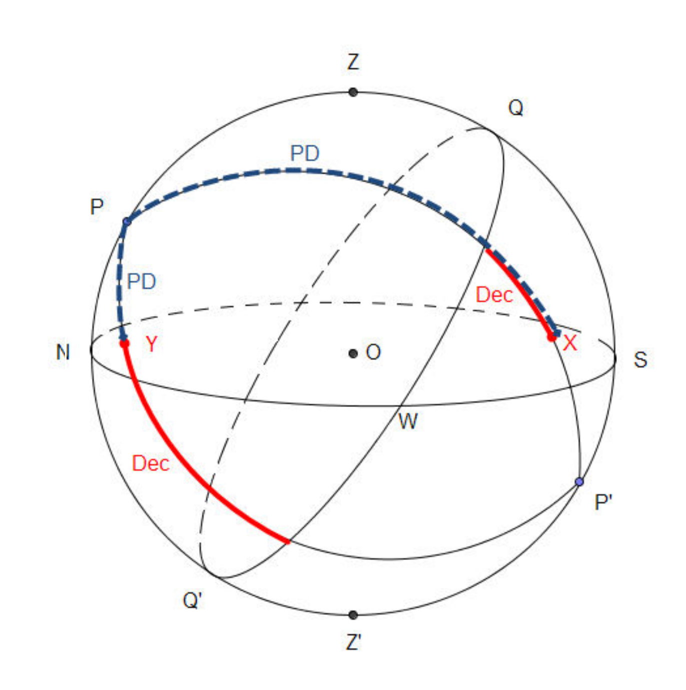
طول القوس على دائرة الافق ، أو الزاوية عند السمت Z مقاسة من الدائرة الرأسية الرئيسية وحتى الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي X، ويرمز للزاوية السمتية بالرمز Az وهي تقاس بثلاثة أنظمة هي :

- الربع دائري من °0 - °90 إبتداءً من نقطة الشمال N أو الجنوب S باتجاه الشرق أو الغرب.
- النصف دائري من °0 - °180 إبتداءً من نقطة الشمال N أو الجنوب S بحسب إشارة عرض الراصد باتجاه الشرق أو الغرب.
- الدائري من °0 - °360 إبتداءً من نقطة الشمال N باتجاه الشرق .

الميل
Declination

يعرف الميل على أنه طول القوس المقاس على دائرة الزوال المارة بالجرم السماوي ، إبتداءً من دائرة الإستواء السماوي QQ' حتى موقع الجرم ويقاس من $0° - 90°$ شمالاً أو جنوباً ويرمز للميل بالرمز Dec .

من الرسم الجرم السماوي X ذو ميل جنوبي بينما الجرم السماوي Y ذو ميل شمالي.



البعد القطبي
Polar Distance

هو طول القوس المقاس على دائرة الزوال المارة بالجرم السماوي ، إبتداءً من القطب المرتفع حتى موقع الجرم السماوي ويقاس من $0° - 180°$ ويرمز للبعد القطبي بالرمز PD.

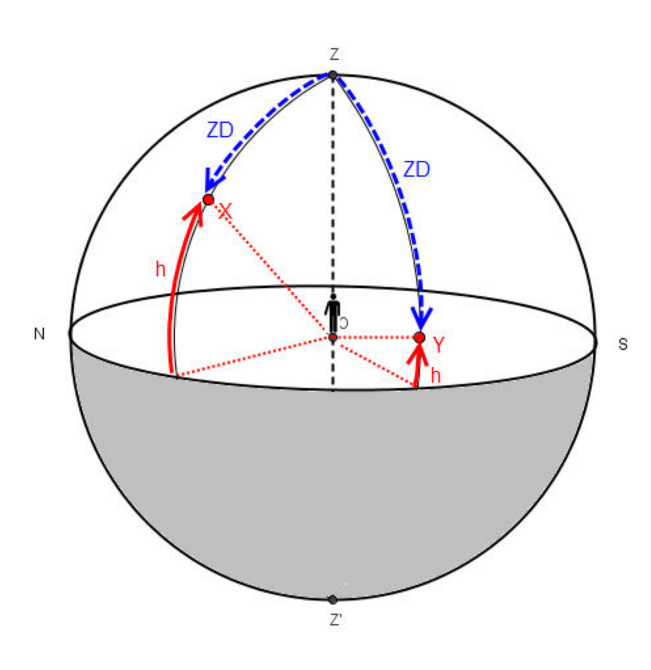
من الرسم يمثل القوس PX البعد القطبي للجرم X بينما يمثل القوس PY البعد القطبي للجرم Y.

العلاقة بين الميل والبعد القطبي

$$PD = 90 \pm Dec$$

+ الميل والعرض بخلاف الإشارة
− الميل والعرض بنفس الإشارة

إرتفاع الجرم السماوي
Altitude



يعرف إرتفاع الجرم السماوي على أنه طول القوس المقاس على الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي إبتداءً من دائرة الافق حتى موقع الجرم ويقاس من 0° - 90° ويرمز للإرتفاع بالرمز h ، وعند لحظة مرور الجرم السماوي على دائرة زوال الراصد فإنه يبلغ غاية إرتفاعه ويسمى حينئذ الإرتفاع الزوالي ويرمز له بالرمز H ويأخذ الإتجاه الشمالي N أو الجنوبي S بحسب الجهة الاقرب له.

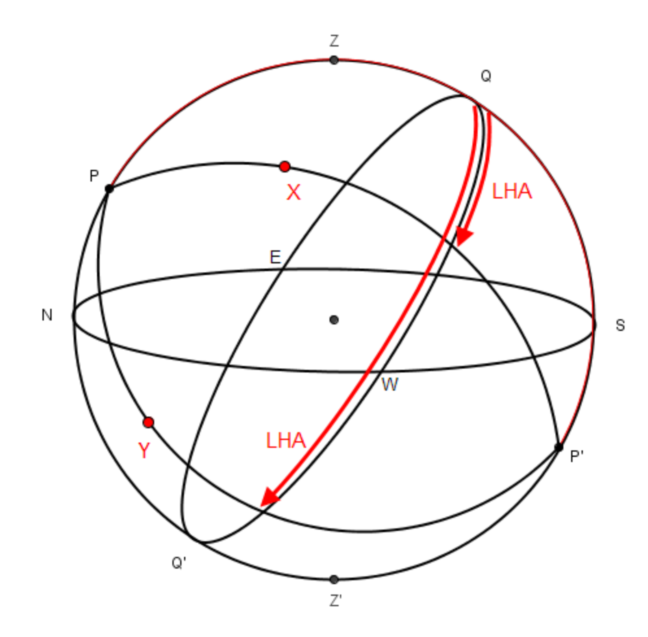
البعد السمتي للجرم السماوي
Zenith Distance

هو طول القوس المقاس على الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي إبتداءً من نقطة السمت Z وحتى موقع الجرم ويقاس من 0° - 90°، وقد تقاس من 0° - 180° ويرمز للبعد السمتي بالرمز ZD ، وعند لحظة مرور الجرم السماوي على دائرة زوال الراصد فإن البعد السمتي حينئذ يسمى البعد السمتي الزوالي ويرمز له بالرمز mer.ZD.

العلاقة بين إرتفاع الجرم السماوي وبعده السمتي

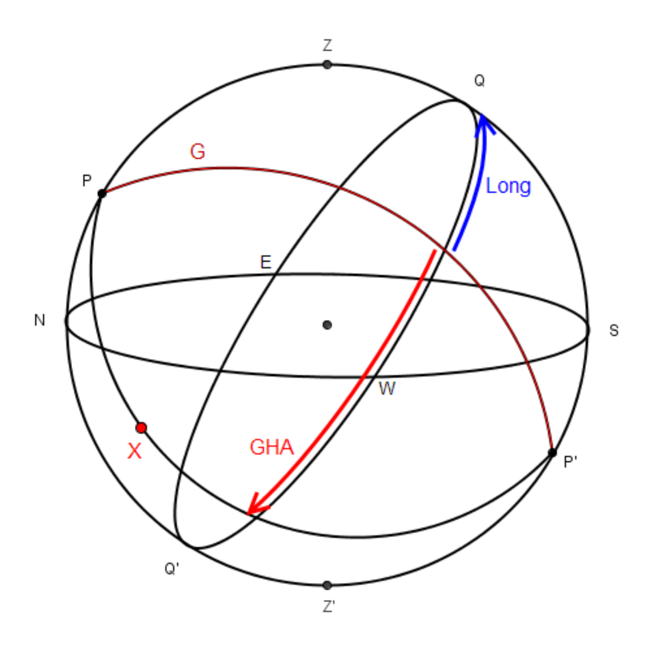
$$ZD = 90^\circ \pm h$$

+ الجرم السماوي أسفل الأفق
- الجرم السماوي فوق الأفق



الزاوية الساعية المحلية
Local Hour Angle

طـول القـوس المقـاس علـى خـط الإسـتواء الـسماوي 'QQ أو الزاويـة عنـد القطـب P إبتداءً من خط الزوال العلوي للراصد 'PZP وحتـى خـط الـزوال المـار بـالجرم الـسماوي وتقـاس مـن °0 - °360 باتجاه الغـرب كما يمكن التعبير عنها بوحدات زمنية من 0 – 24 ساعة ويرمز لها بالرمز LHA .



الزاوية الساعية لغرينتش
Greenwich Hour Angle

طـول القـوس المقـاس علـى خـط الإسـتواء السماوي 'QQ أو الزاوية عند القطب P إبتـداءً من خط الـزوال العلـوي لغـرينتش G وحتـى خـط الـزوال المـار بـالجرم الـسماوي وتقـاس مـن °0 - °360 باتجاه الغـرب كـما يمكـن التعـبير عنهـا بوحـدات زمنيـة مـن 0 – 24 ساعة ويرمز لها بالرمز GHA.

العلاقة بين الزاوية الساعية المحلية LHA والزاوية الساعية لغرينتش GHA

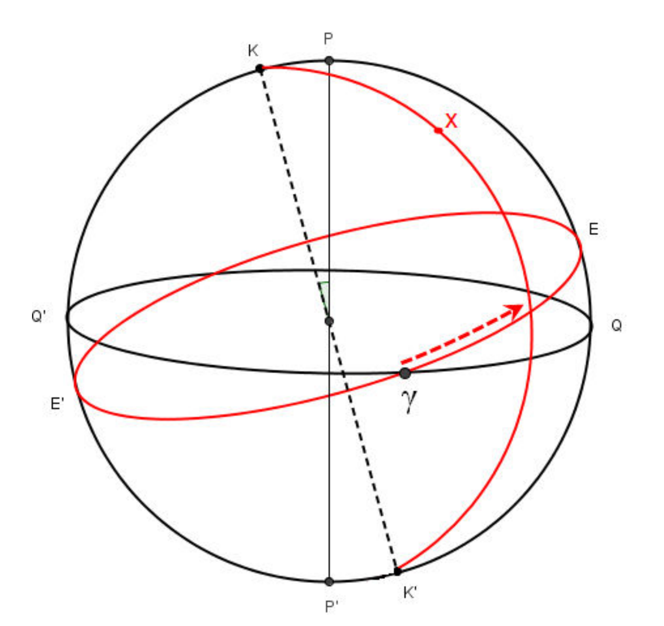
$$LHA = GHA \pm Long$$

+ خط طول Long شرقي
- خط طول Long غربي

الدائرة السماوية
Celestial Circle / Ecliptic

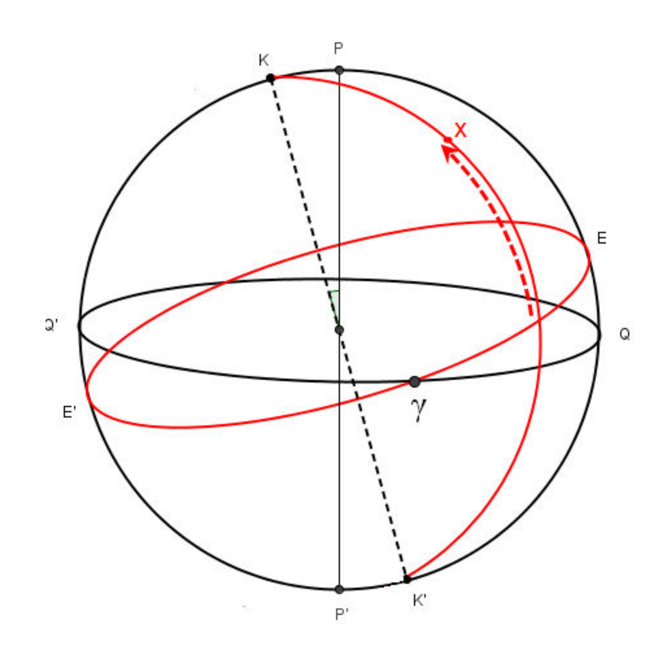
يعرف المسار السنوي الظاهري الذي ترسمه الشمس الحقيقية أثناء حركتها الظاهرية حول الأرض بالدائرة السماوية 'E E، وتسمى كذلك الدائرة الكسوفية أو البروجية، وهي دائرة عظمى تصنع زاوية مقدارها $23.439°$ مع خط الإستواء السماوي 'QQ بما يسمى بالميل الكلي (ε)، وتعرف إحدى نقطتي تقاطع الدائرة السماوية مع خط الإستواء السماوي بنقطة الإعتدال الربيعي، ويرمز لهذه النقطة بالرمز γ .

الطول السماوي
Celestial Longitude



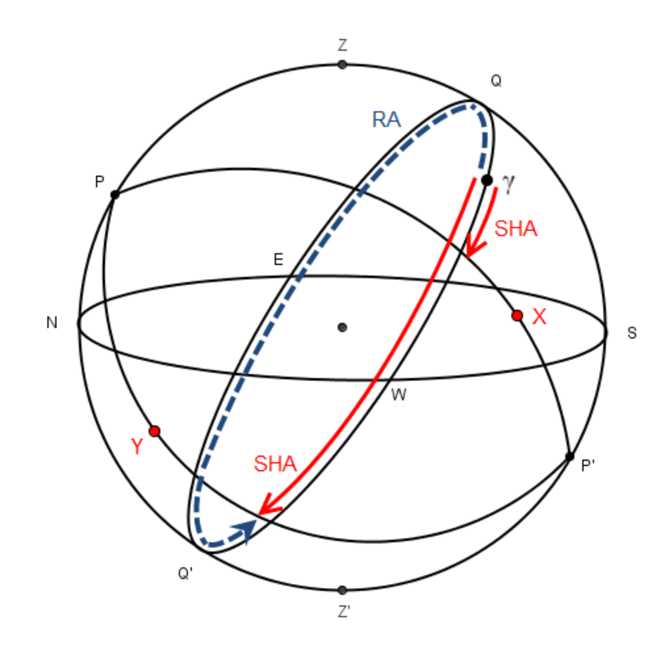
عبارة عن المسافة الزاوية المقاسة شرقاً على مستوى الدائرة السماوية، إبتداءً من نقطة الإعتدال الربيعي γ وحتى الدائرة العظمى الواصلة بين القطبين 'KK والمارة بالجرم السماوي، وتقاس من $0°$ - $360°$ وتسمى أحياناً بالطول البروجي أو الكسوفي .

العرض السماوي
Celestial Latitude



عبارة عن المسافة الزاوية المقاسة باتجاه الشمال أو الجنوب على إمتداد الدائرة العظمى الواصلة بين القطبين 'KK والمارة بالجرم، إبتداءً من مستوى الدائرة السماوية، وتقاس من $0°$ - $90°$، حيث يكون قيمة عرض القطب الشمالي للدائرة السماوية K هو $+90°$، ويسمى أحياناً بالعرض البروجي أو الكسوفي.

الزاوية الساعية النجمية
Sidereal Hour Angle



طول القوس على خط الاستواء السماوي QQ' أو زاوية عند القطب P مقاسة من خط الزوال المار بنقطة الإعتدال الربيعي γ وحتى خط الزوال المار بالجرم السماوي وتقاس غرباً من 0° - 360° ويمكن التعبير عنها بوحدات زمنية من 0 ساعة حتى 24 ساعة ويرمز لها بالرمز SHA .

المطلع المستقيم
Right Ascension

طول القوس على خط الاستواء السماوي QQ' أو زاوية عند القطب P مقاسة من خط الزوال المار بنقطة الإعتدال الربيعي γ وحتى خط الزوال المار بالجرم السماوي وتقاس شرقاً من 0° - 360° ويمكن التعبير عنها بوحدات زمنية من 0 ساعة حتى 24 ساعة ويرمز لها بالرمز RA .

العلاقة بين الزاوية الزمنية النجمية SHA والمطلع المستقيم RA

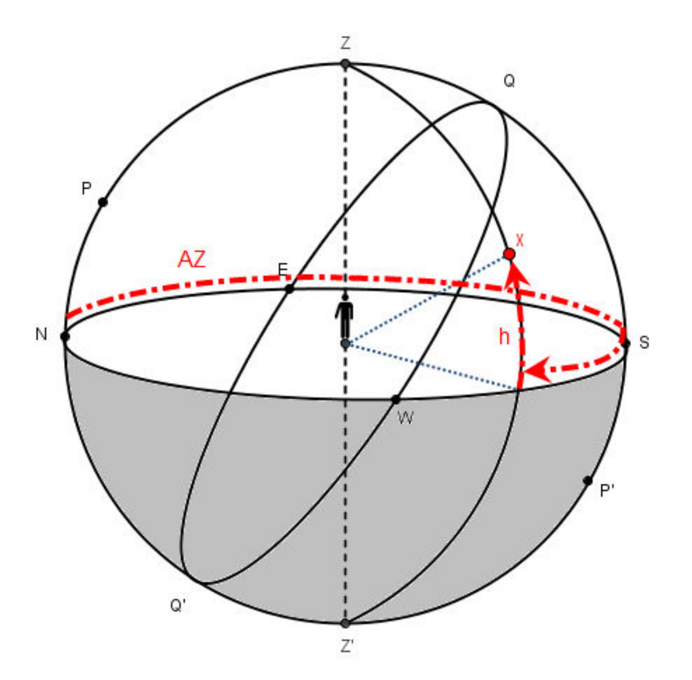
$$SHA + RA = 360 \text{ or } 24^h$$

نظام الإحداثيات السماوية
Systems of Coordinates

كما تتحدد المواقع على سطح الكرة الأرضية بواسطة الإحداثيات الجغرافية المعروفة بخط العرض وخط الطول، تتحدد كذلك مواقع الأجرام السماوية المختلفة على سطح الكرة السماوية بواسطة الإحداثيات السماوية، التي تتيح لنا وصف مواضع الأجرام السماوية في صفحة السماء والتعبير عنها بصيغة رياضية، وتعرف هذه الإحداثيات على أنها أنظمة لتحديد المواقع على سطح الكرة السماوية إستناداً إلى دائرتين سماويتين عظيمتين متعامدتين على بعضعهما البعض، وثمة عدة أنظمة للإحداثيات السماوية تختلف فيما بينها بحسب مبادىء الإسناد المرجعية والعناصر المستخدمة في القياس، ويتوقف إستخدام ذلك على ظروف الرصد والحساب، ففي بعض المواضع يفضل إستخدام نظام إحداثي معين، في حين أن مواضع أخرى تتطلب إستخدام نظام إحداثي آخر دون غيره، وفيما يلي توضيح لأشهر هذه الأنظمة :

نظام الإحداثيات	منظومة الدوائر العظمى	عناصر الإحداثيات
النظام الأفقي	دائرة الافق، والدائرة الرأسية الرئيسية	الإرتفاع h الزاوية السمتية Az
النظام الإستوائي	دائرة الإستواء السماوي، ودائرة زوال الراصد	الميل Dec الزاوية الساعية المحلية LHA
النظام الإستوائي الثاني	دائرة الإستواء السماوي، ودائرة الزوال المارة بنقطة الإعتدال الربيعي	الميل Dec المطلع المستقيم RA
النظام السماوي	الدائرة السماوية، والدائرة الواصلة بين قطبيها والمارة بنقطة الإعتدال الربيعي	الطول السماوي λ العرض السماوي β

الإحداثيات الأفقية
Horizon System



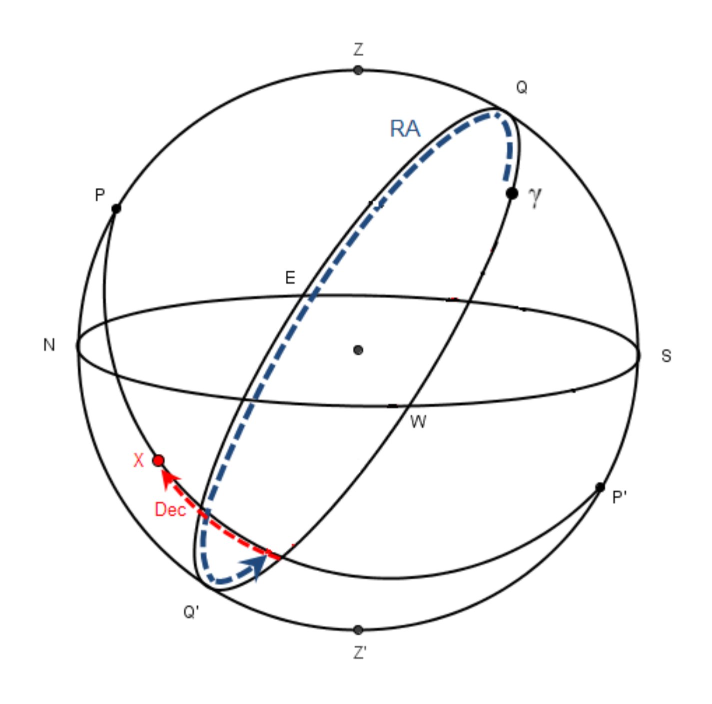
الإحداثيات الأفقية للجرم السماوي X توضح بواسطة عناصر القياس :

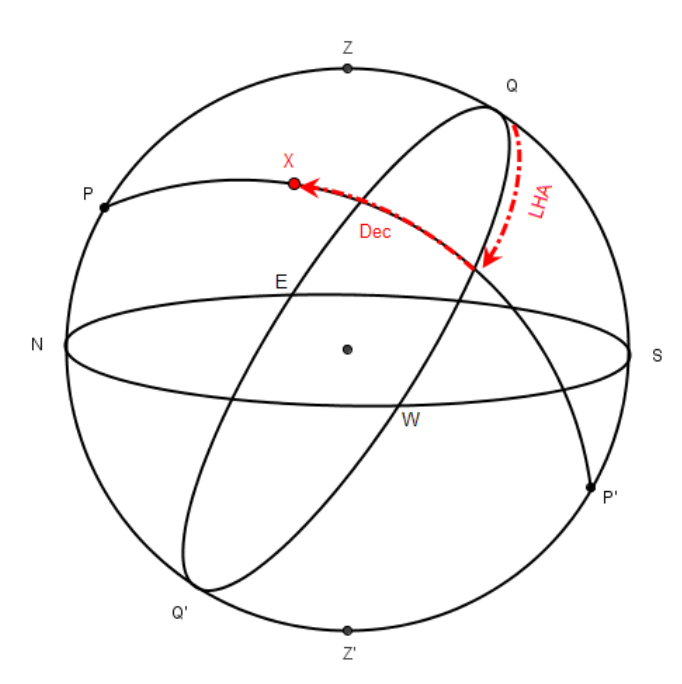
- الإرتفاع h
- الزاوية السمتية AZ

الإحداثيات الإستوائية
Equinoctial System

الإحداثيات الإستوائية للجرم السماوي X توضح بواسطة عناصر القياس :

- الزاوية الساعية المحلية LHA، أو المطلع المستقيم RA
- الميل Dec

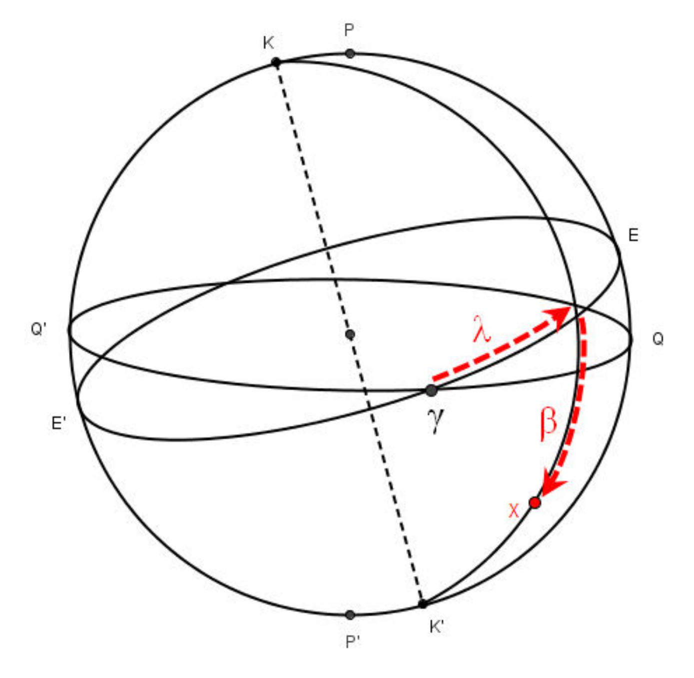




الإحداثيات السماوية
Ecliptic System

الإحداثيات السماوية وتسمى كذلك الكسوفية أو البروجية للجرم السماوي X توضح بواسطة عناصر القياس :

- الطول السماوي λ
- العرض السماوي β



التحويل بين نظم الإحداثيات السماوية

أولاً : التحويل من نظام أفقي إلى نظام إستوائي

$$Sin(Dec) = Sin(h)Sin(Lat) + Cos(h)Cos(Lat)Cos(Az)$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

ثانياً : التحويل من نظام إستوائي إلى نظام أفقي

$$Sin(h) = Sin(Lat)Sin(Dec) + Cos(Lat)Cos(Dec)Cos(LHA)$$

$$Cos(Az) = \frac{Sin(Dec) - Sin(Lat)Sin(h)}{Cos(Lat)Cos(h)} \quad or \quad Sin(Az) = \frac{Sin(LHA)Cos(Dec)}{Cos(h)}$$

ثالثاً : التحويل من نظام إستوائي إلى نظام سماوي

$$Sin(\beta) = Sin(Dec)Cos(\varepsilon) - Cos(Dec)Sin(\varepsilon)Sin(RA)$$

$$Tan(\lambda) = \frac{Sin(RA)Cos(\varepsilon) + Tan(Dec)Sin(\varepsilon)}{Cos(RA)}$$

رابعاً : التحويل من نظام سماوي إلى نظام إستوائي

$$Sin(Dec) = Sin(\beta)Cos(\varepsilon) + Cos(\beta)Sin(\varepsilon)Sin(\lambda)$$

$$Tan(RA) = \frac{Sin(\lambda)Cos(\varepsilon) - Tan(\beta)Sin(\varepsilon)}{Cos(\lambda)}$$

الوحدات الزمنية و الوحدات الزاويّة

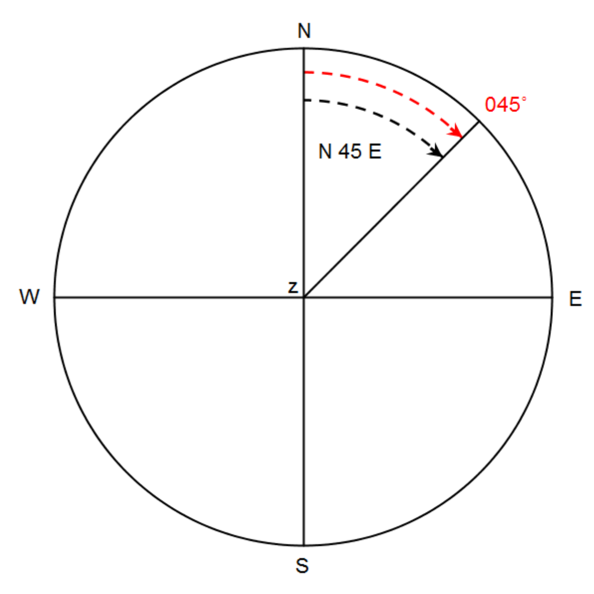
تستخدم الوحدات الزمنية عادة في التعبير عن بعض زوايا القياس الفلكي ، مثل الزاوية الساعية وكذلك المطلع المستقيم للإجرام السماوية ، حيث يستعاض عن الوحدات القوسية (الزاويّة) المتمثلة بالدرجات والدقائق والثواني القوسية بالوحدات الزمنية المتمثلة بالساعات والدقائق والثواني الزمنية .

ويمكننا التحويل كلما تطلب الأمر بين هاتين الوحدتين إذا علمنا بأن الكرة الأرضية تتم دورة كاملة حول محورها 360° درجة في زمن مقدارة يوم كامل 24^h ساعة ، بمعنى 15° درجة كل 1^h ساعة $\left(\frac{360^\circ}{24h}\right)$ ، وبالتالي يمكننا التحويل بين الوحدتين من خلال قسمة الوحدات الزاويّة المقاسة بالدرجات على 15° للحصول على وحدات زمنية مقاسة بالساعات ، أو ضرب الوحدات الزمنية في 15° للحصول على وحدات زاويّة ، ويوضح الجدول أدناه الوحدات الزاويّة وما يقابلها من وحدات زمنية والعكس .

وحدات قوسية		وحدات زمنية	
360	درجة	24	ساعة
15	درجة	1	ساعة
15	دقيقة قوسية	1	دقيقة زمنية
15	ثانية قوسية	1	ثانية زمنية

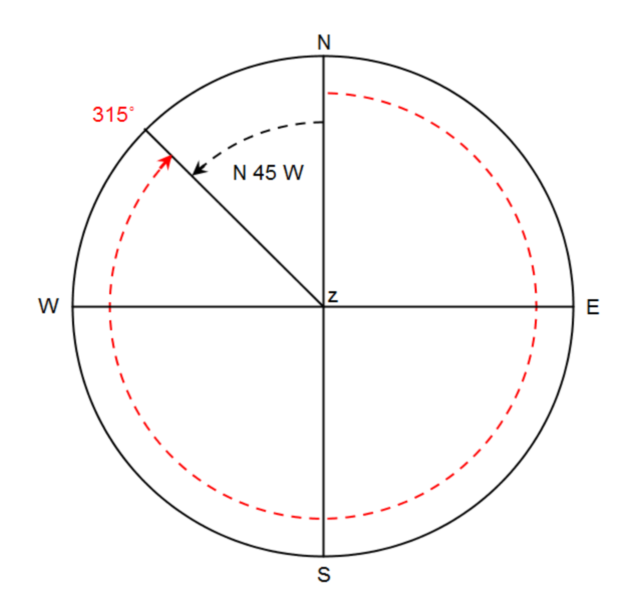
ولما كانت الدائرة تعادل بالدرجات 360° وبالساعات 24^h ، فإنه لايجب في حال من الأحوال أن تتجاوز تلك القيمة أبداً ، ولو حدث ذلك فلابد من حذف مقدار دائرة كاملة أي 360° من قيمة الزاوية في حال كانت الوحدة المستخدمة في القياس هي الدرجات ، أو حذف 24^h ساعة في حال كانت وحدة القياس بالساعات .

تحويل الزاوية السمتية من النظام الربعي إلى النظام الدائري



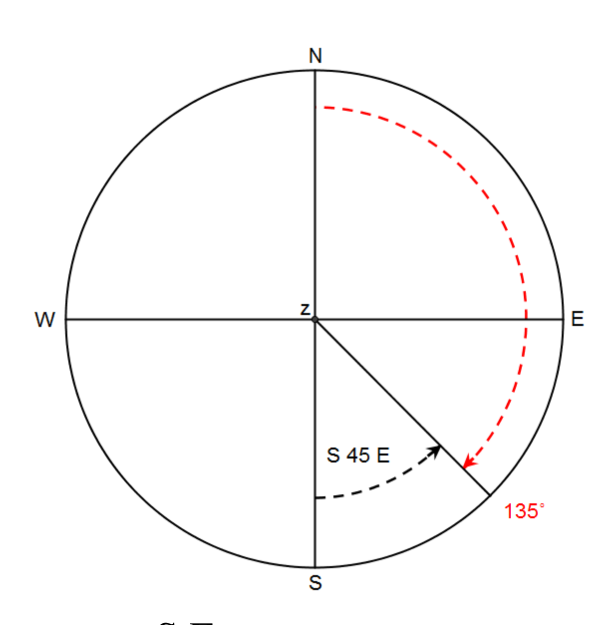
الربع الأول N E

$Az = Z$



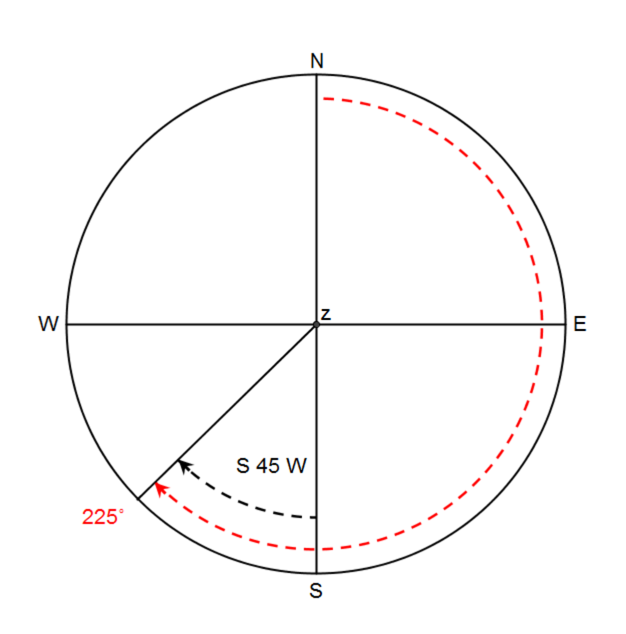
الربع الرابع N W

$Az = 360^\circ - Z$



الربع الثاني S E

$Az = 180^\circ - Z$



الربع الثالث S W

$Az = 180^\circ + Z$

مثال (1) : إذا علمت أن قيمة الميل Dec لبعض النجوم هي :

Canopus	52° 42′ 15″ S
Deneb	45° 19′ 58″ N
Betelgeuse	07° 24′ 31″ N
Fomalhaut	29° 32′ 42″ S

أوجد البعد القطبي P.D للنجوم المذكورة أعلاه بالنسبة لراصد ذو خط عرض شمالي .

$PD = 90° \pm Dec$

Canopus	90° + 52° 42′ 15″ S	P.D = 142° 42′ 15″
Deneb	90° - 45° 19′ 58″ N	P.D = 44° 40′ 02″
Betelgeuse	90° - 07° 24′ 31″ N	P.D = 82° 35′ 29″
Fomalhaut	90° + 29° 32′ 42″ S	P.D = 119° 32′ 42″

مثال (2) : إذا كان البعد القطبي P.D للنجم Vega يساوي ″52 ′47 °128 بالنسبة لراصد ذو عرض جنوبي فما قيمة الميل Dec للنجم ؟

PD = 90° + Dec
Dec = 90° - PD
Dec = 90° - 128° 47′ 52″
Dec = 38° 47′ 52″ N

مثال (3) : إذا علمت أن قيمة الميل Dec للنجم Polaris يساوي ″33 ′19 °89 شمالي فكم يبلغ بعده القطبي P.D بالنسبة إلى راصد ذو عرض شمالي؟

PD = 90° - Dec
PD = 90° - 89° 19′ 33″
PD = 00° 40′ 27″

مثال (4) : إذا علمت أن قيمة الإرتفاع h عند لحظة معينة لمجموعة من النجوم كانت :

Sirius	$36° 43' 35''$	
Rigel	$28° 40' 35''$	
Pollux	$78° 44' 46''$	
Hadar	$- 21° 22' 51''$	أسفل الأفق

أوجد البعد السمتي ZD للنجوم المذكورة أعلاه عند تلك اللحظة .

$ZD = 90° \pm h$

Sirius	$90° - 36° 43' 35''$	$ZD = 53° 16' 25''$
Rigel	$90° - 28° 40' 35''$	$ZD = 61° 19' 25''$
Pollux	$90° - 78° 44' 46''$	$ZD = 11° 15' 14''$
Hadar	$90° + 21° 22' 51''$	$ZD = 111° 22' 51''$

مثال (5) : إذا كانت قيمة الإرتفاع h لنجم ما تبلغ $90°$ فكم يكون بعده السمتي ZD ؟

$ZD = 90° \pm h$
$ZD = 90° - 90°$
$ZD = 0°$

وهذا يعني أن النجم في تلك اللحظة عند سمت الراصد مباشرة بمعنى أنه يقع فوق رأسه تماماً .

مثال (6) : أوجد مقدار الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي X في الحالات التالية :

أ - لحظة مروره خط زوال الراصد العلوي والسفلي .

تكون قيمة LHA لحظة مرور الجرم السماوي X خط زوال الراصد العلوي $360°$ بينما لحظة مروره خط زوال الراصد السفلي تكون $180°$.

ب - إذا كانت الزاوية عند القطب P تساوي 10° قبل مرور الجرم خط زوال الراصد العلوي وبعد مروره .

قبل مرور الجرم خط زوال الراصد العلوي تكون قيمة الزاوية الساعية المحلية 350° ، أما بعد مروره تكون 10° حيث أنها تقاس باتجاه الغرب إبتداءً من خط الزوال العلوي للراصد .

ج - إذا كانت الزاوية الساعية لغرينتش GHA تساوي 240° وخط طول الراصد 45° شرق .

LHA = GHA + Long (East)
$LHA = 240^\circ + 45^\circ$
$LHA = 285^\circ$

مثال (7) : إذا كان المطلع المستقيم RA للنجم Hamal يساوي $02^h\ 08^m\ 00^s$ فما قيمة الزاوية الساعية النجمية SHA للنجم ؟

$SHA = 24^h - RA$
$SHA = 24^h - 02^h\ 08^m\ 00^s$
$SHA = 21^h\ 52^m\ 00^s$

مثال (8) : في لحظة معينة تم رصد إتجاه جرم سماوي محدد حيث كانت زاويته السمتية بنظام القياس الربعي Z تساوي N 25 W فكم تكون قيمة زاوية السمتية Az بالنظام الدائري ؟

$Az = 360^\circ - Z$ الربع الرابع
$Az = 360^\circ - 25^\circ$
$Az = 335^\circ$

مثال (9) : إحسب الإحداثيات السماوية للنجم Sirius إذا علمت أن

الميل الكلي ε	الميل Dec	المطلع المستقيم RA
23° 26′ 15″	16° 44′ 13″ S	$06^h\ 45^m\ 47^s$
		101° 26′ 45″

$$Sin(\beta) = Sin(Dec)Cos(\varepsilon) - Cos(Dec)Sin(\varepsilon)Sin(RA)$$

$$Sin(\beta) = Sin(-16°\,44'13")Cos(23°\,26'15") - Cos(-16°\,44'13")Sin(23°\,26'15")Sin(101°\,26'45")$$

$$Sin(\beta) = (-0.264218) - (0.373324)$$

$$Sin(\beta) = -0.637542$$

$$\beta = -39°\,36'32"$$

$$Tan(\lambda) = \frac{Sin(RA)Cos(\varepsilon) + Tan(Dec)Sin(\varepsilon)}{Cos(RA)}$$

$$Tan(\lambda) = \frac{Sin(101°\,26'45")Cos(23°\,26'15") + Tan(-16°\,44'13")Sin(23°\,26'15")}{Cos(101°\,26'45")}$$

$$Tan(\lambda) = \frac{(0.899248) + (-0.119610)}{(-0.198441)}$$

$$Tan(\lambda) = \frac{0.779638}{-0.198441}$$

$$Tan(\lambda) = -3.928807$$

$$\lambda = -75.719727 \qquad (+180°)$$

$$\lambda = 104°\,16'49"$$

الفصل الثاني

الإسقاطات الفلكية

إنشاء إسقاط للكرة السماوية

تكمن أهمية معرفة رسم الكرة السماوية وإجادة إنشاء الإسقاطات الفلكية المبسطة، في فهم وتصور جغرافية الكرة السماوية التي تطرقنا بالحديث عنها في مطلع هذا الكتاب، حيث جاءت على شكل تعاريف مصحوبة برسم توضيحي، ونعود في هذا الفصل لنتطرق إليها بشكل تطبيقي عبر نوعين مختلفين من الإسقاطات الفلكية وهما :

- الإسقاط على دائرة الزوال
- الإسقاط على دائرة الأفق

ويتوقف إستخدام أحدهما عن الآخر على عدة عوامل، أهمها عناصر القياس المعطاة في المسألة الفلكية، والمنظور المطلوب رؤيته من الكرة السماوية، والغاية من عمل الإسقاط التي تحددها طبيعة المسألة الفلكية، وفي جميع الأحوال فإنه يراعى عند رسم الإسقاطات الفلكية بشكل عام عدة نقاط أساسية من أهمها :

- المنظور المطلوب رؤيته من الكرة السماوية، ويتحدد ذلك عن طريق إحدى عناصر القياس وهي الزاوية السمتية AZ، فإذا كانت الزاوية السمتية محصورة بين القيمتين $0°$ - $180°$ يكون المنظور المطلوب رؤيته من الكرة السماوية هو المنظور الشرقي E، أما إذا كانت الزاوية السمتية محصورة بين القيمتين $180°$ - $360°$ يكون المنظور المطلوب رؤيته من الكرة السماوية هو المنظور الغربي W .

- نقطة الشرق E تكون دائماً على يمين نقطة الشمال N بينما تكون نقطة الغرب W دائماً على يسار نقطة الشمال N، وتبقى نقطة الجنوب S في الإتجاه المعاكس لنقطة الشمال N .

- في خطوط العرض الشمالية دائماً ما يكون القطب السماوي المرتفع (المرئي) فوق الافق هو القطب السماوي الشمالي Pn، بينما يكون القطب السماوي الجنوبي Ps هو القطب المنخفض (الغير مرئي) أسفل الافق وفي الإتجاه المعاكس لنظيره الشمالي، وبنفس قيمة إرتفاعه، والعكس بالنسبة لخطوط العرض الجنوبية. في حين يكون كلا القطبين متطابقين

على نقطة الشمال N والجنوب S كل بحسب إتجاهه عند خط عرض صفر (عند خط الإستواء الجغرافي) .

- إرتفاع القطب السماوي يساوي دائماً خط عرض الراصد الجغرافي، بمعنى أنه إذا كان الراصد يقف على خط عرض 30° شمال فإن إرتفاع القطب السماوي الشمالي Pn يكون كذلك 30° ، وبالمقابل يكون إنخفاض القطب السماوي الجنوبي 30° أيضاً .

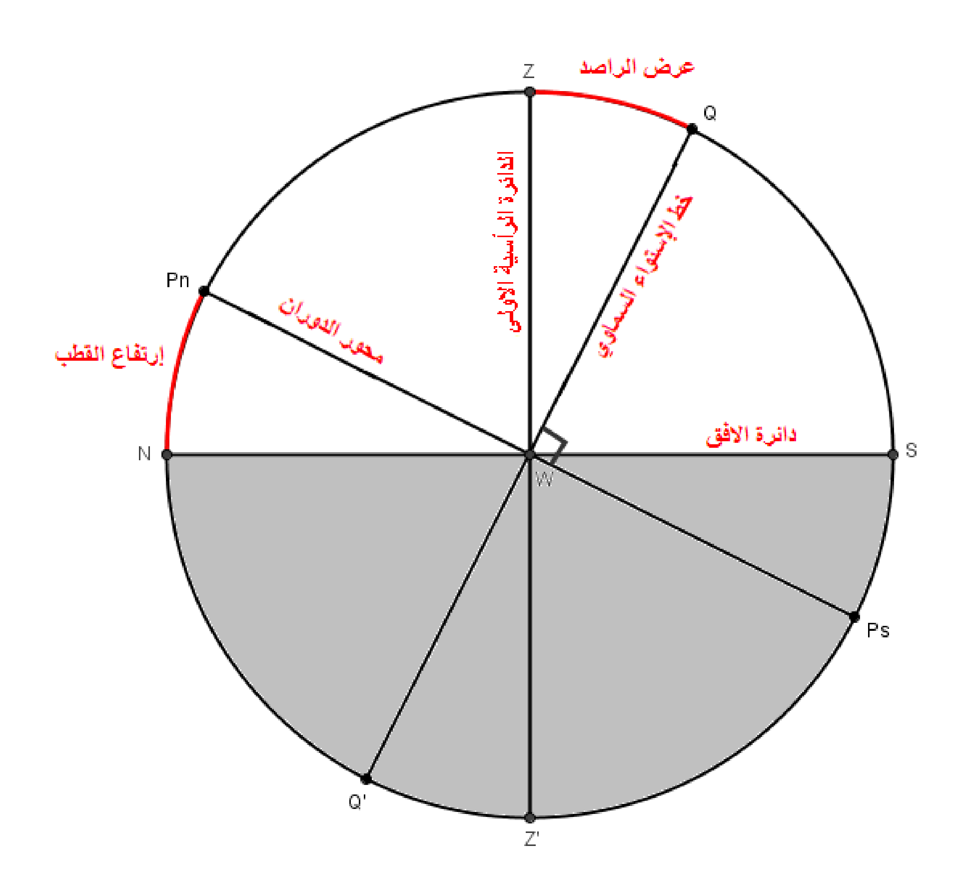
- محور دوران الكرة السماوية يكون عمودياً على خط الإستواء السماوي 'QQ بمعنى أن الخط الواصل بين قطبي الكرة السماوية 'P P عمودي على خط الإستواء السماوي'QQ.

- مقياس الرسم المفضل هو $1\ mm \leftarrow 2^{\circ}$ ، ويتم الرسم على ورقة رسم بياني باستخدام أدوات الرسم الهندسية.

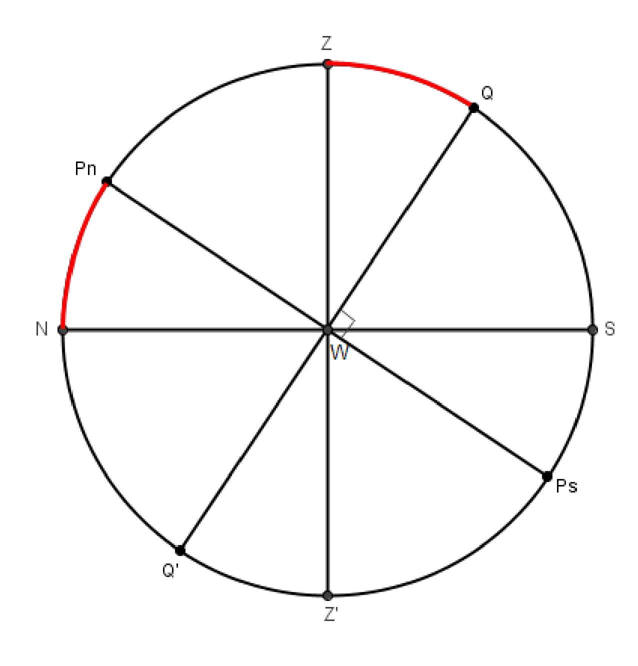
هذا مع مراعاة الحرص والدقة قدر المستطاع أثناء الرسم، للحصول على أقرب نتيجة ممكنة للمسألة الفلكية بحيث تحاكي الواقع، وتعطي التصور الجيد للراصد .

إسقاط على دائرة الزوال

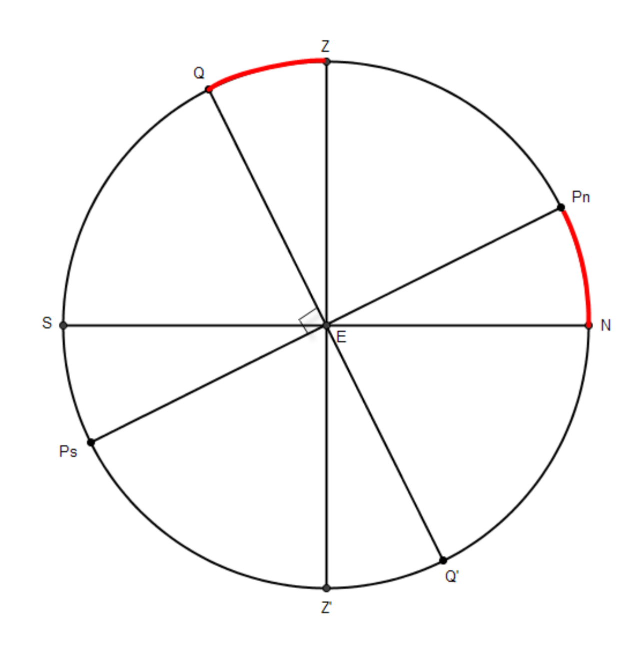
يمثل الشكل التالي إسقاط على دائرة الزوال لمنظور غربي للكرة السماوية ، ولراصد ذو عرض شمالي حيث أن :



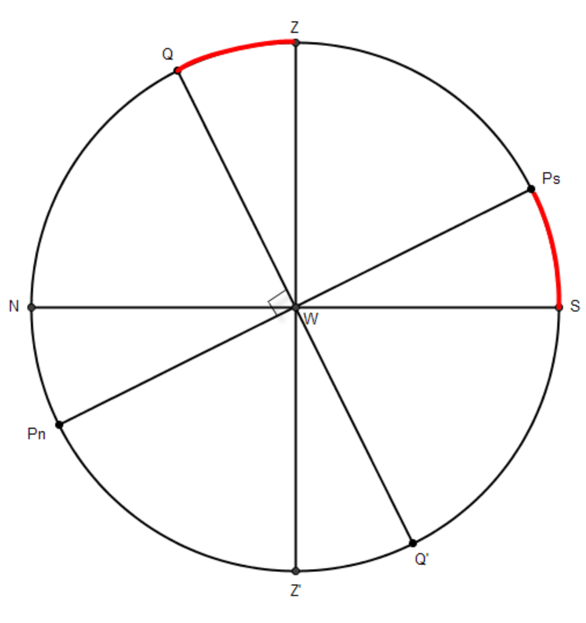
- Pn Z Ps تمثل دائرة زوال الراصد العلوية في حين Pn Z' Ps تمثل السفلية .
- NWS يمثل دائرة الافق من منظورها الغربي W .
- ZWZ' يمثل الدائرة الرأسية الاولى وهي عمودية على دائرة الافق.
- Pn Ps يمثل محور دوران الكرة السماوية.
- Q W Q' يمثل خط الاستواء السماوي وهو قائم على محور الدوران.
- Z Q يمثل عرض الراصد .
- N Pn يمثل إرتفاع القطب الشمالي فوق الافق وهو يساوي ZQ (عرض الراصد).



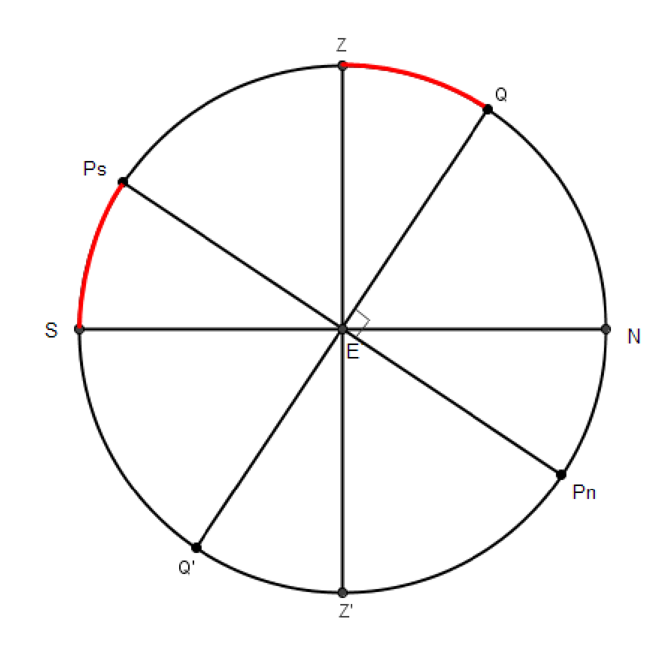
منظور غربي لراصد شمالي



منظور شرقي لراصد شمالي

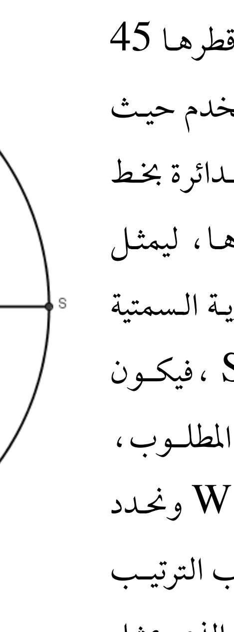


منظور غربي لراصد جنوبي

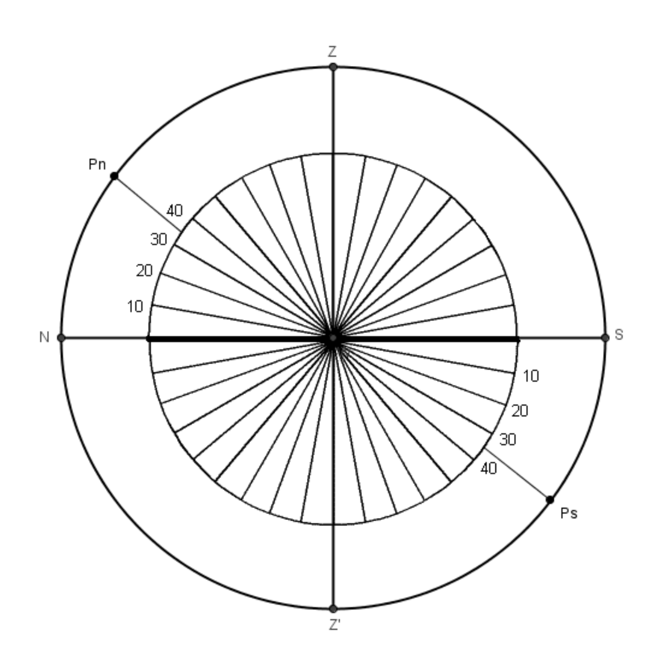


منظور شرقي لراصد جنوبي

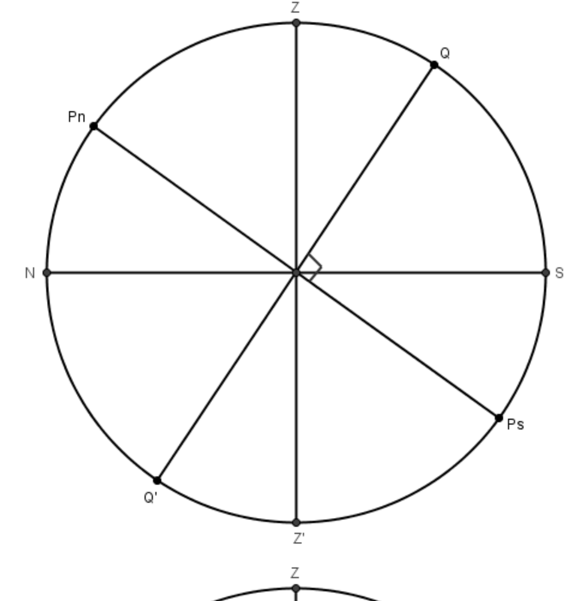
خطوات رسم إسقاط على دائرة زوال الراصد لجرم سماوي X ذو ميل 10° شمالاً ، وارتفاع 20° ، وزاوية سمتية جنوبية غربية SW علماً بأن خط عرض الراصد 35° شمالاً .



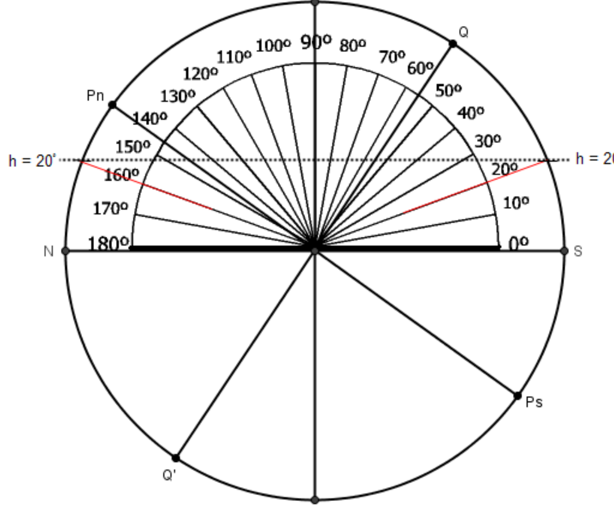
باستخدام الفرجار نرسم دائرة نصف قطرها 45 مم ما تعادل 90° بمقياس الرسم المستخدم حيث تمثل دائرة زوال الراصد، ثم نقطع الدائرة بخط مستقيم أفقي وآخر رأسي مروراً بمركزها، ليمثل الخط الافقي دائرة الافق، وبما أن الزاوية السمتية للجرم السماوي جنوبية غربية SW ، فيكون المنظور الغربي للكرة السماوية هو المطلوب، وبالتالي نحدد نقطة المركز بنقطة الغرب W ونحدد نقطتي الشمال N والجنوب S بحسب الترتيب المعروف، ويبقى الخط المستقيم الرأسي الذي يمثل الدائرة الرأسية الاولى، ونحدد عليها نقطتي السمت والنظير ZZ' .



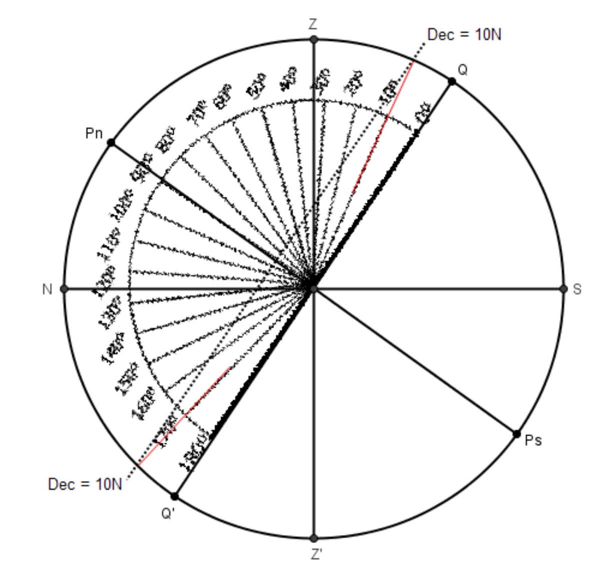
بما أن خط عرض الراصد شمالي، فيكون القطب السماوي المرتفع (المرئي) هو القطب الشمالي Pn بينما يكون القطب الجنوبي Ps منخفض، ولتحديد درجة إرتفاع وانخفاض القطبين، نضع المنقلة على خط دائرة الافق NWS ونقيس درجة إرتفاع القطب الشمالي Pn وهي بنفس قيمة خط عرض الراصد 35° وبالمثل نقيس درجة إنخفاض القطب الجنوبي Ps .



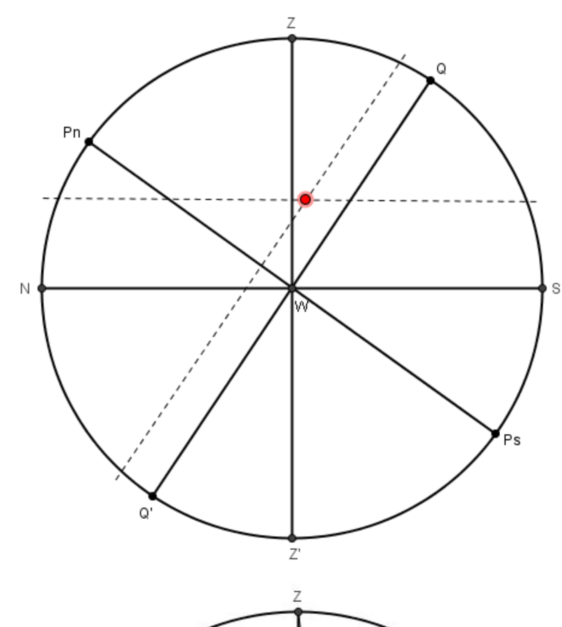
نقيم خط عمودي على الخط الواصل بين القطبين السماويين Pn ،Ps ماراً بنقطة المركز W ، يمثل خط الإستواء السماوي 'QQ بحيث يكون إرتفاع القطب NPn يساوي عرض الراصد ZQ، ويمكن تحديد ذلك بوضع المنقلة على الخط الواصل بين نقطتي السمت والنظير 'ZZ وقياس القوس ZQ و 'Z'Q حيث أن كلاهما يساوي عرض الراصد 35°



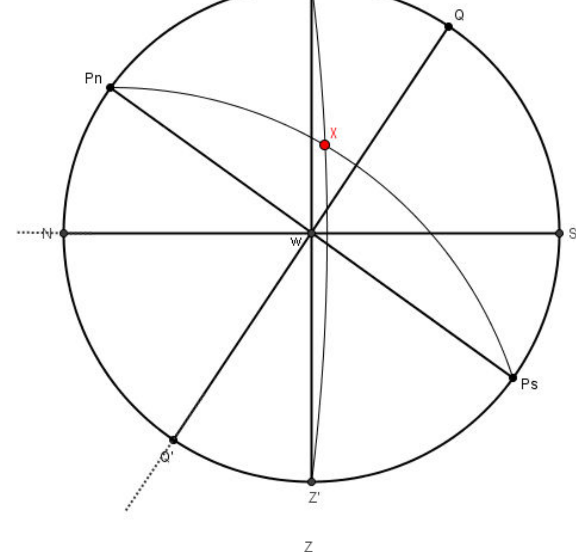
لقياس الإرتفاع h نضع المنقلة على إمتداد خط الافق NWS ثم نقيس درجة الإرتفاع 20° من الجهتين ونحدد علامة، ثم نصل بينهما بخط فنحصل على موازي الإرتفاع المار بالجرم السماوي X.



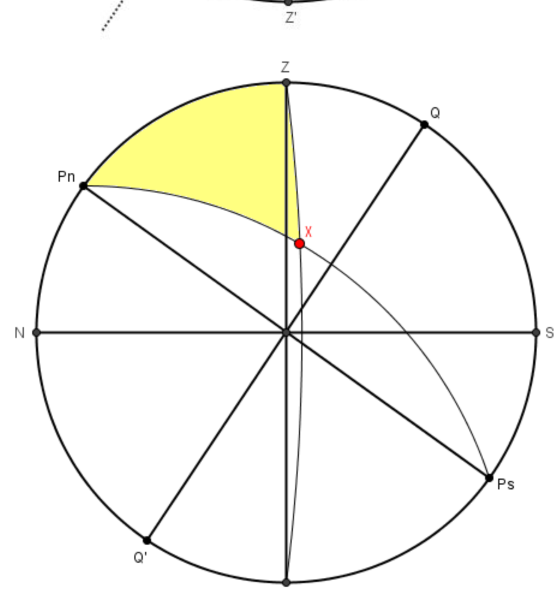
لقياس الميل Dec نضع المنقلة على إمتداد خط الاستواء السماوي 'QQ ثم نقيس درجة الميل 10°N من الجهتين ونحدد علامة، ثم نصل بينهما بخط فنحصل على موازي الميل المار بالجرم X .



نقطة تقاطع كل من موازي الإرتفاع وموازي الميل يحدد موقع الجرم السماوي X على الكرة السماوية .



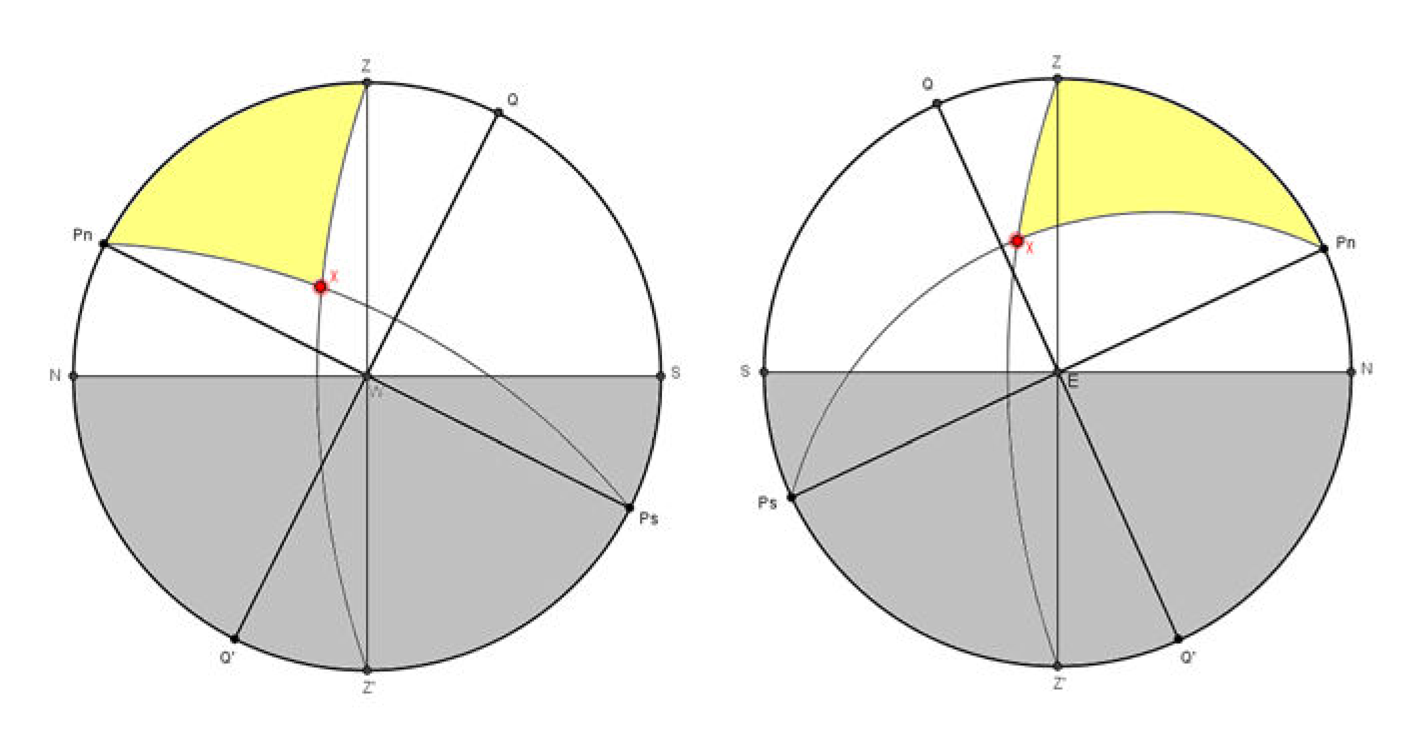
نركز سن الفرجار على إمتداد دائرة الافق NWS لنرسم الدائرة الرأسية ZXZ' المارة بالجرم السماوي X ، وبنفس الطريقة مع إرتكاز الفرجار على إمتداد خط الاستواء السماوي QQ' نرسم دائرة الزوال المارة بالجرم X.



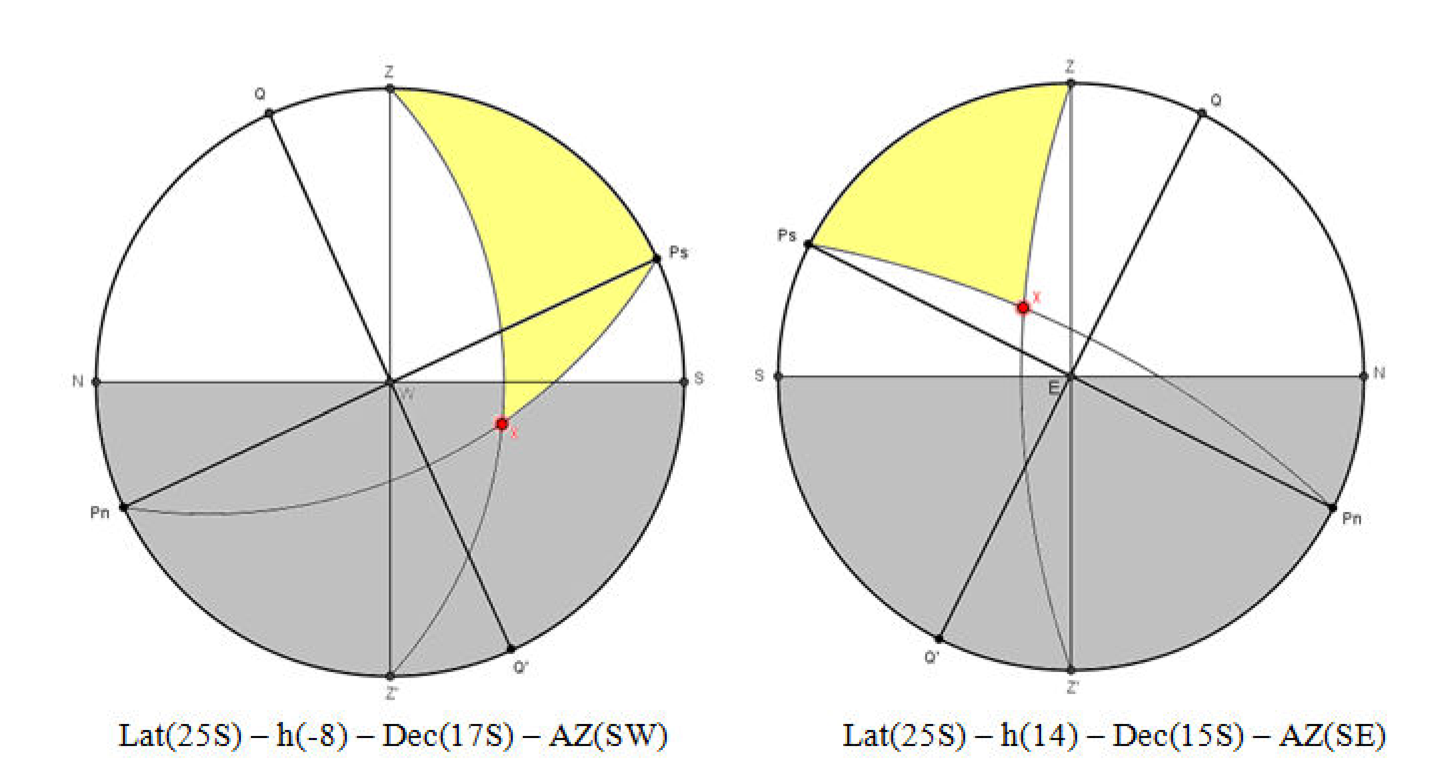
تحدد معنا بعد الرسم مثلث كروي يعرف بإسم المثلث الفلكي PXZ حيث أن :

- القوس PnZ يمثل تمام عرض الراصد co-Lat
- القوس ZX يمثل البعد السمتي ZD
- القوس PnX يمثل البعد القطبي PD
- الزاوية Pn تمثل الزاوية الساعية المحلية LHA
- الزاوية Z تمثل الزاوية السمتية Az

إسقاط على خط زوال الراصد للجرم السماوي X بأوضاع مختلفة





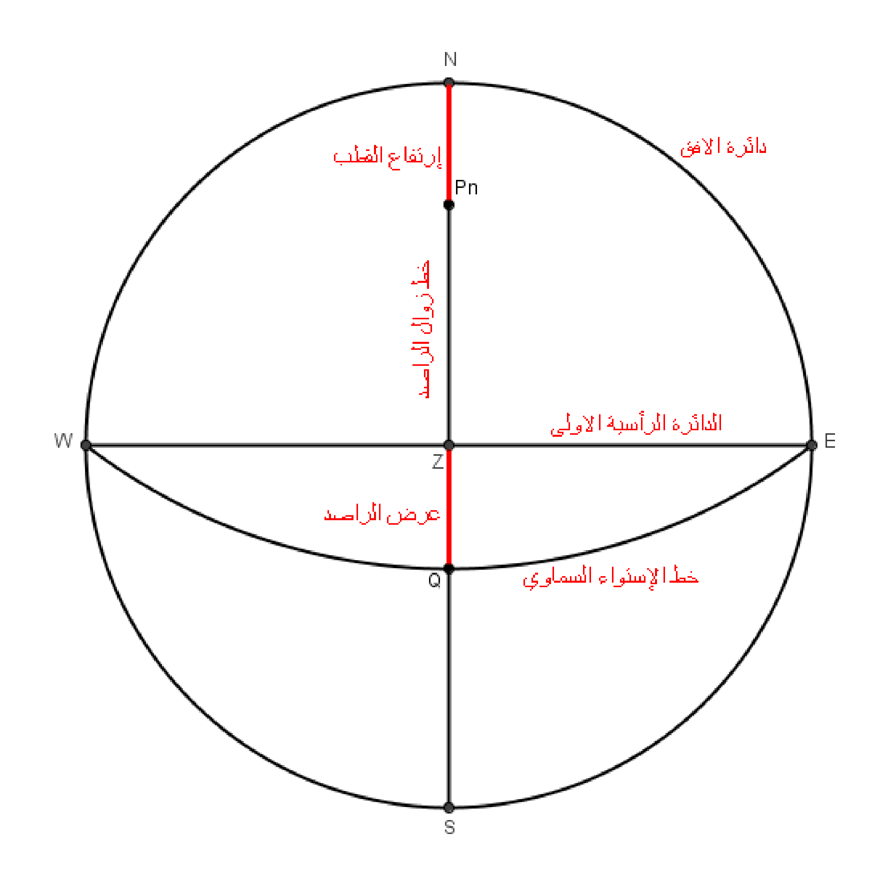


Lat(25S) – h(-8) – Dec(17S) – AZ(SW)

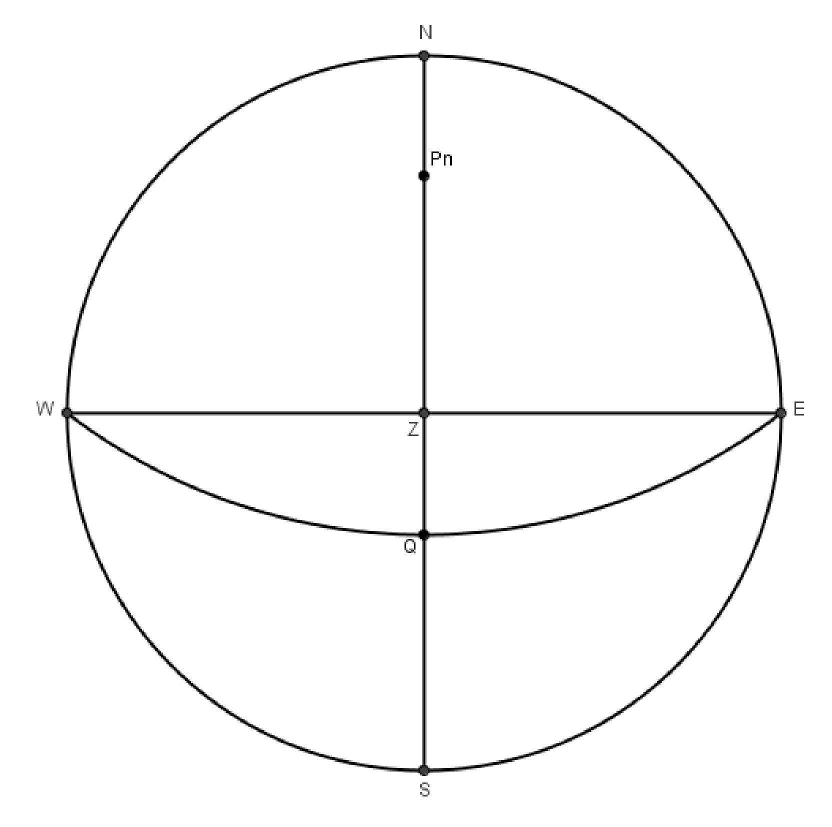
Lat(25S) – h(14) – Dec(15S) – AZ(SE)

إسقاط على دائرة الافق

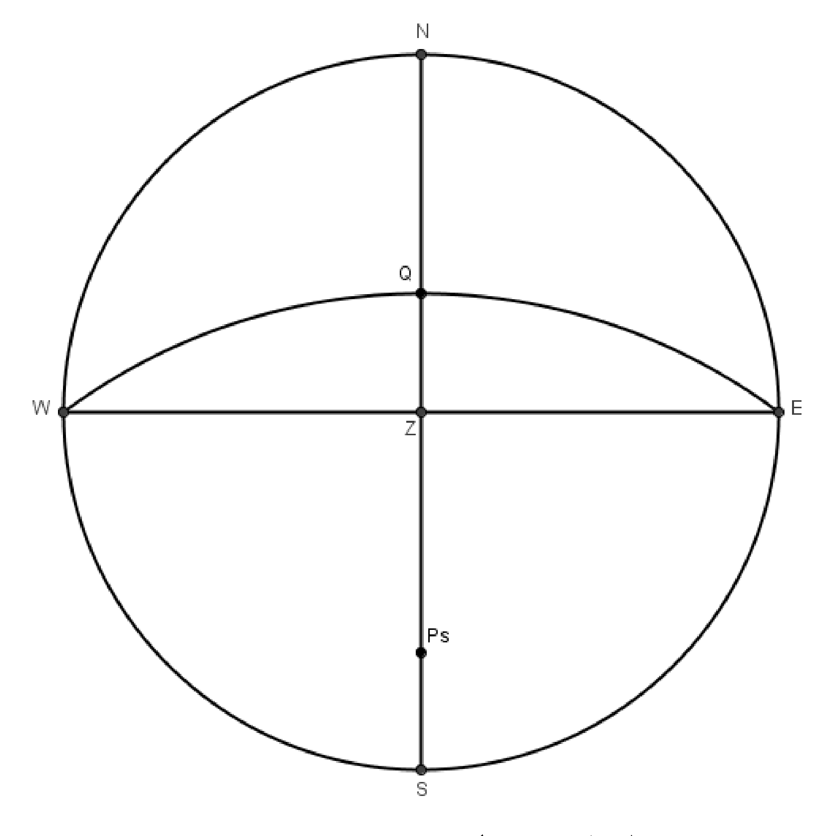
يمثل الشكل التالي إسقاط على دائرة الافق للكرة السماوية ، ولراصد ذو عرض شمالي حيث أن :



- NZS يمثل دائرة زوال الراصد.
- WZE يمثل الدائرة الرأسية الاولى.
- NESW يمثل دائرة الافق .
- WQE يمثل خط الإستواء السماوي.
- N Pn يمثل إرتفاع القطب الشمالي Pn فوق الافق .
- Z Q يمثل عرض الراصد .
- N Pn يمثل إرتفاع القطب الشمالي وهو يساوي ZQ (عرض الراصد) .

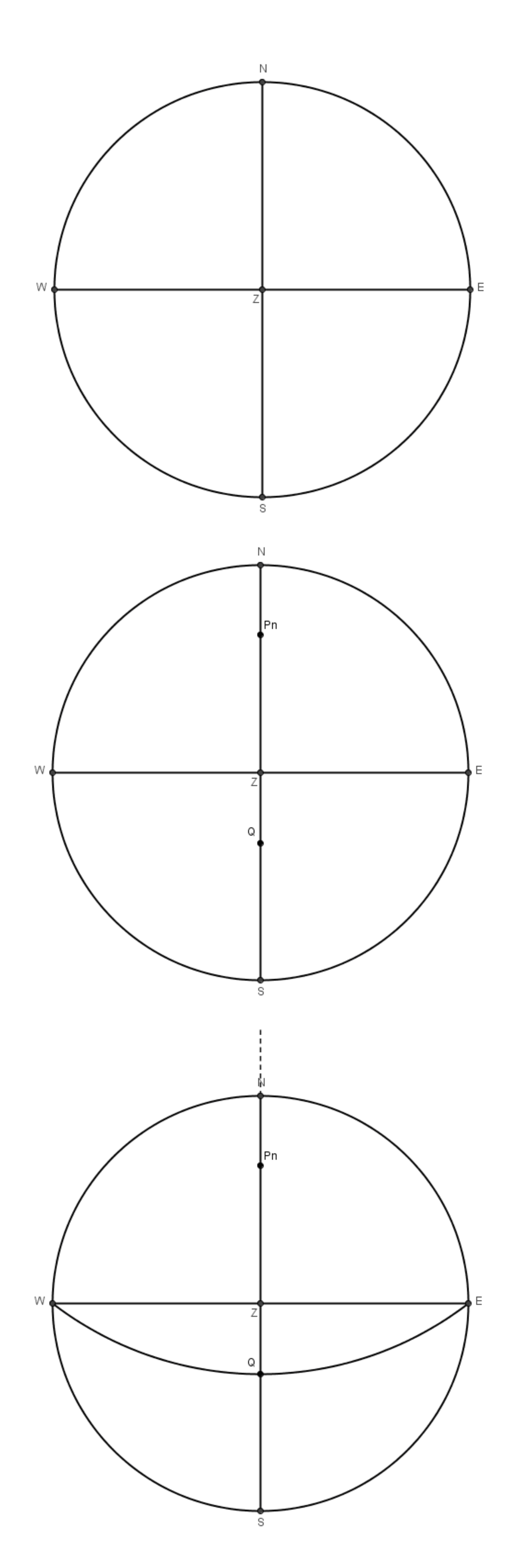


إسقاط على دائرة الافق لراصد ذو عرض شمالي



إسقاط على دائرة الافق لراصد ذو عرض جنوبي

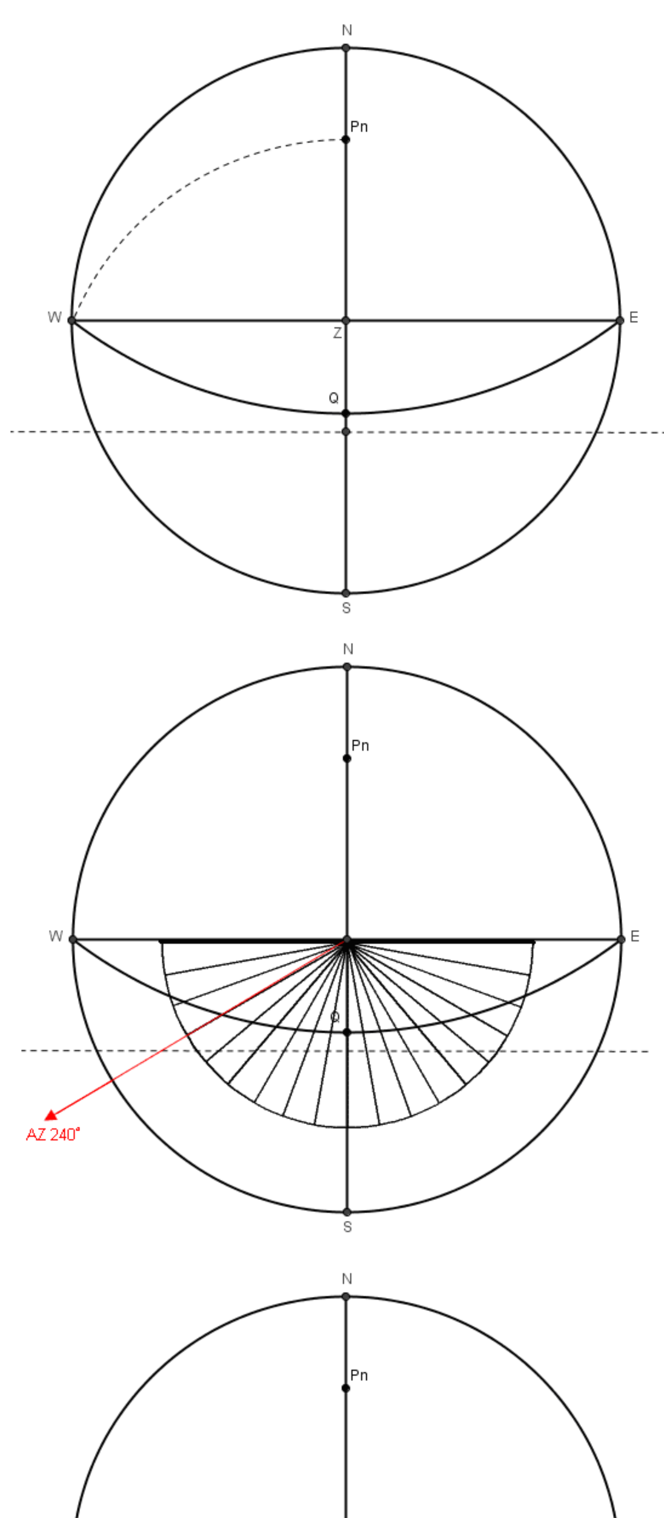
وفيما يلي خطوات رسم إسقاط على دائرة الافق لجرم سماوي X ذو إرتفاع 20° وزاوية سمتية 240°، علماً بأن خط عرض الراصد 30° شمالاً .



باستخدام الفرجار نرسم دائرة نصف قطرها 45 مم تعادل 90° بمقياس الرسم المستخدم حيث تمثل دائرة الافق NESW، ثم نقطع الدائرة بخط مستقيم افقي WZE يمثل الدائرة الرأسية الاولى، وآخر رأسي NZS يمثل دائرة زوال الراصد .

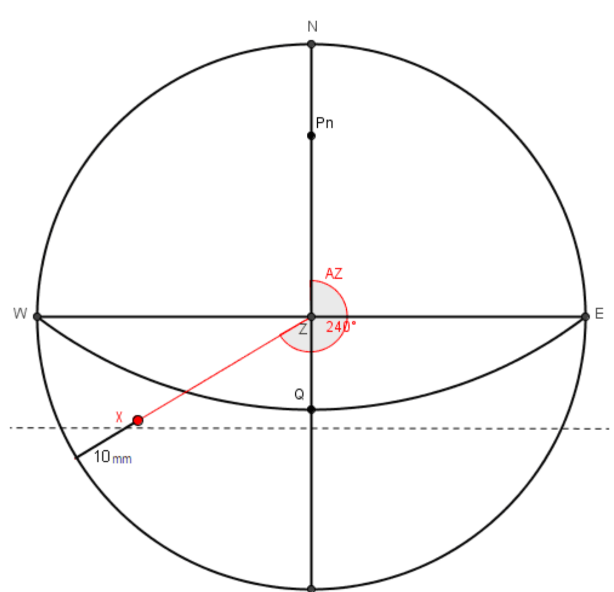
بما أن خط عرض الراصد 30°N فيكون القطب السماوي المرتفع (المرئي) هو القطب الشمالي Pn ، ولتعيين درجة إرتفاعه بمقياس الرسم المستخدم نضع المسطرة على إمتداد دائرة زوال الراصد NZS ونقيس 15 مم إبتداءً من نقطة N ونحدد نقطة Pn وبالمثل نقيس 15 مم من نقطة Z لنحدد Q .

نركز سن الفرجار على إمتداد دائرة زوال الراصد NZS وباتباع اسلوب المحاولة والتجربة نصل القوس WQE لنحصل على خط الإستواء السماوي .

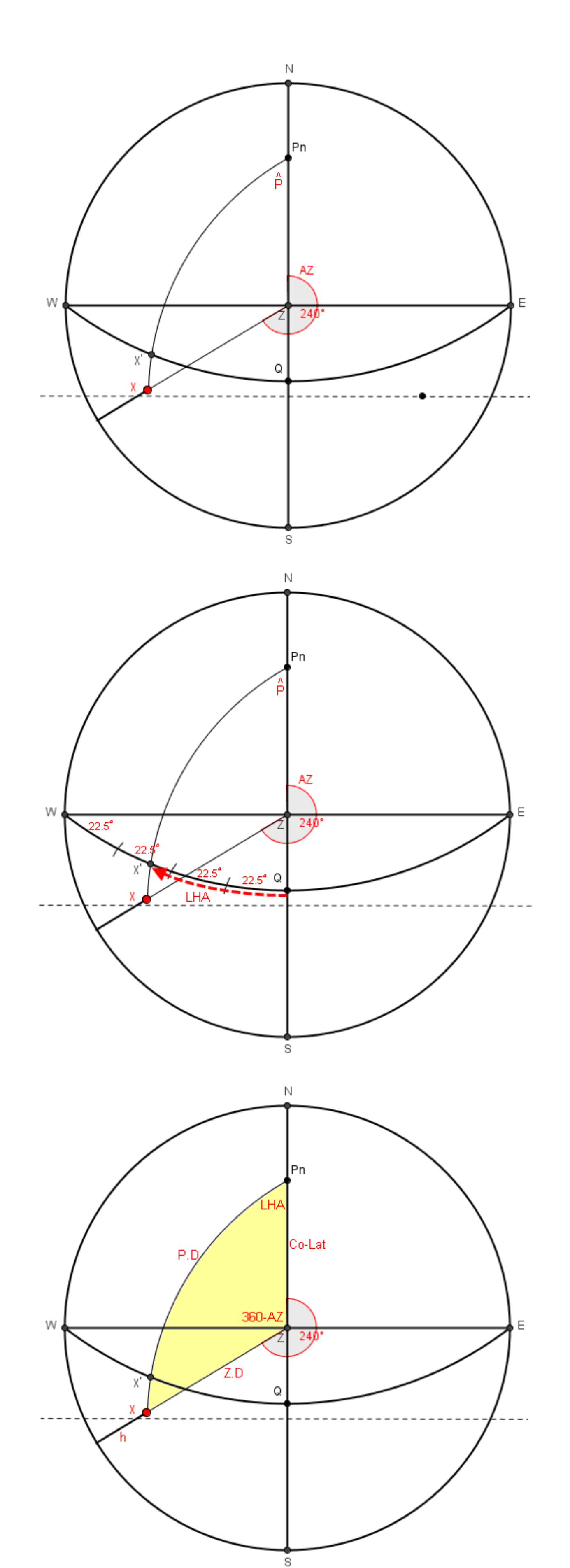


بنفس الطريقة السابقة نحاول تحديد نقطة إرتكاز سن الفرجار على إمتداد دائرة زوال الراصد NZS والتي من خلالها يمكن رسم القوس PnW أو PnE ومن ثم نرسم خطاً مستقيماً ماراً بالنقطة المحددة وقائماً على دائرة زوال الراصد NZS لنحصل على الحل الهندسي لخطوط الزوال والذي بارتكاز سن الفرجار على إمتداده ترسم جميع خطوط الزوال (الاقواس الخارجة من نقطة Pn والقائمة على خط الاستواء السماوي WQE).

بعد الإنتهاء من عمل إسقاط على الافق للراصد نقوم بتوقيع عناصر قياس الجرم السماوي X فلتوقيع زاوية سمت الجرم نضع المنقلة على إمتداد الدائرة الرأسية الاولى WZE بحيث يتطابق مركزها مع نقطة السمت Z ونحدد الزاوية $240°$ بسهم وهي الزاوية السمتية للجرم السماوي X مقاسة بالنظام الدائري.



نقيس إرتفاع الجرم السماوي $20°$ والذي يعادل بمقياس الرسم 10 مم وذلك بوضع المسطرة على إمتداد السهم المحدد للزاوية السمتية للجرم ونقيس إبتداءً من مماس دائرة الافق NESW إلى الداخل باتجاه نقطة السمت Z فنحصل بذلك على إسقاط لموقع الجرم السماوي X على دائرة الافق.



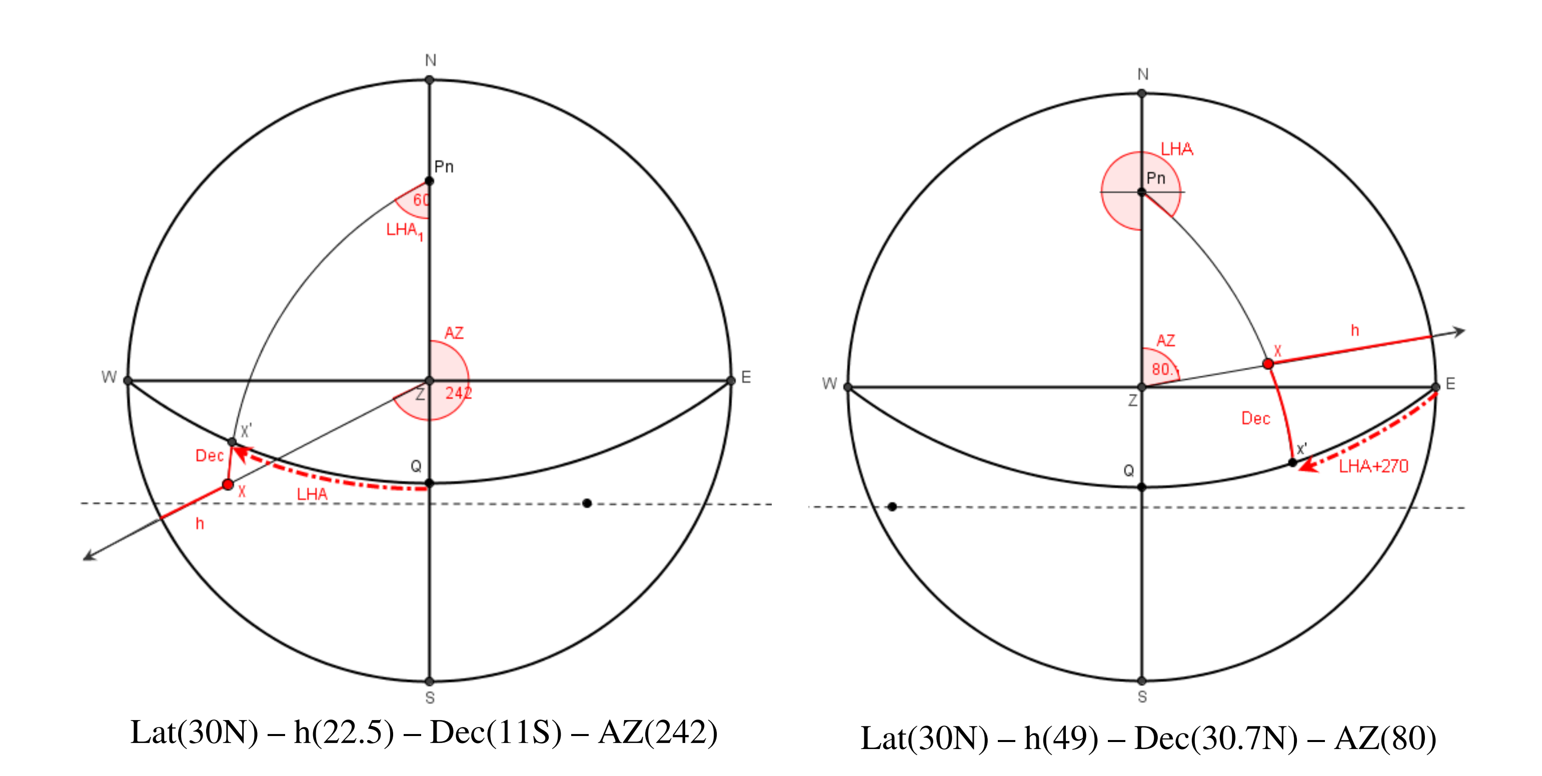
للحصول على الزاوية الساعية المحلة LHA للجرم نضع سن الفرجار على إمتداد المحل الهندسي لخطوط الزوال ونحاول رسم القوس PnX الذي يمثل خط الزوال المار بالجرم ، ومن ثم نعين نقطة إسقاط الجرم السماوي X على خط الإستواء السماوي WQE وهي النقطة 'X ، وذلك لأن قياس الزاوية الساعية المحلة LHA يكون على خط الإستواء السماوي WQE إبتداءً من خط زوال الراصد وحتى خط الزوال المار بالجرم وتقاس باتجاه الغرب.

للحصول على أفضل قيمة تقريبية للزاوية الساعية المحلة LHA نستخدم الفرجار في تجزئة القوس المار بالنقطة 'X وهو WQ إلى أربعة أجزاء متساوية كل جزء منها يساوي $22.5°$ حيث ان كامل القوس WQ يساوي $90°$ وبالحساب التقريبي للزاوية الساعية المحلة LHA نحصل على القيمة $55°$.

تحدد معنا بالرسم المثلث الفلكي PXZ حيث أن :

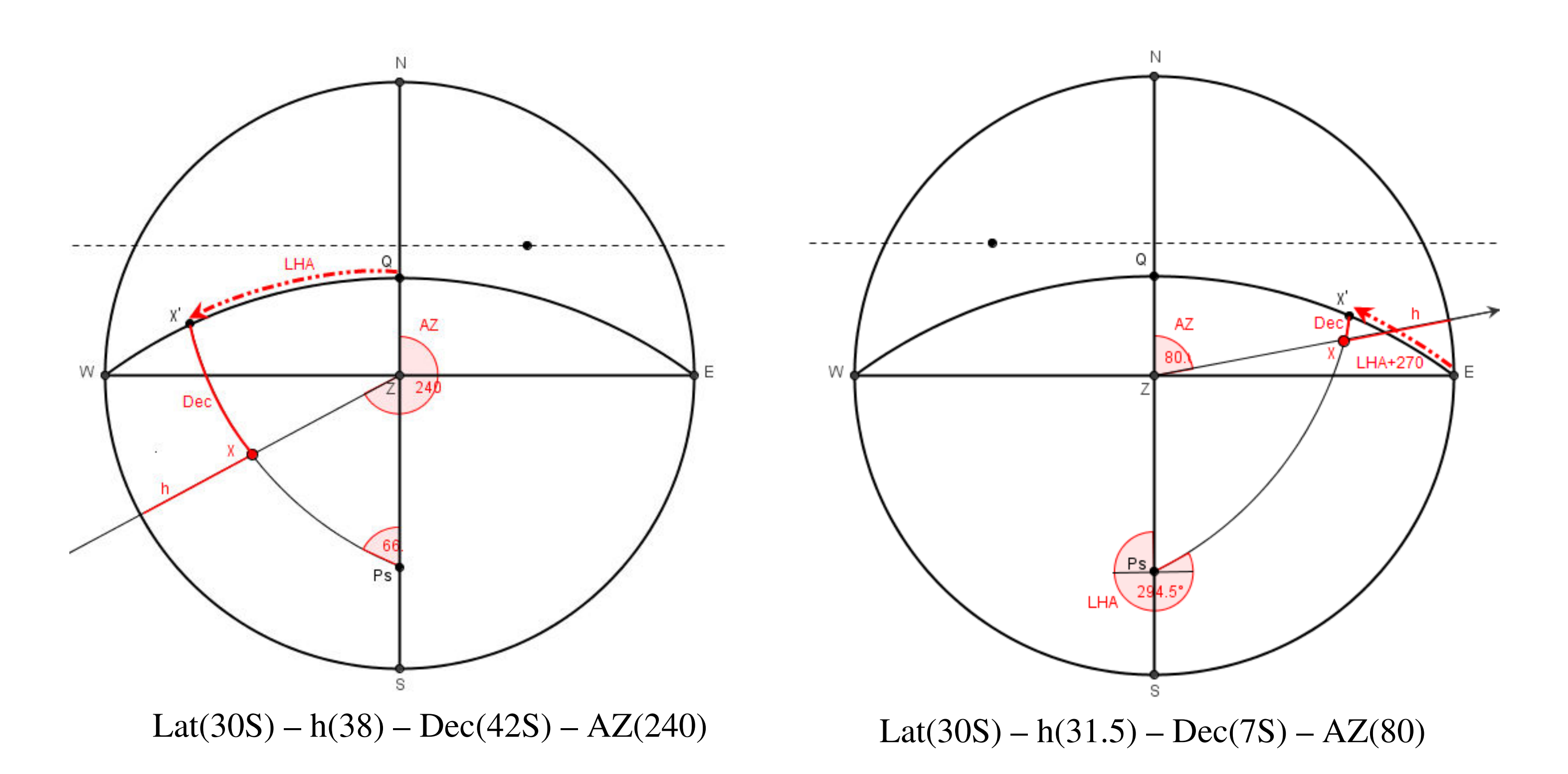
- القوس PnZ يمثل تمام العرض co-Lat
- القوس ZX يمثل البعد السمتي ZD
- القوس PnX يمثل البعد القطبي PD
- الزاوية Pn تمثل الساعية المحلة LHA
- الزاوية Z تمثل الزاوية السمتية Az

إسقاطات على الافق للجرم السماوي X بأوضاع مختلفة



Lat(30N) – h(22.5) – Dec(11S) – AZ(242)

Lat(30N) – h(49) – Dec(30.7N) – AZ(80)



Lat(30S) – h(38) – Dec(42S) – AZ(240)

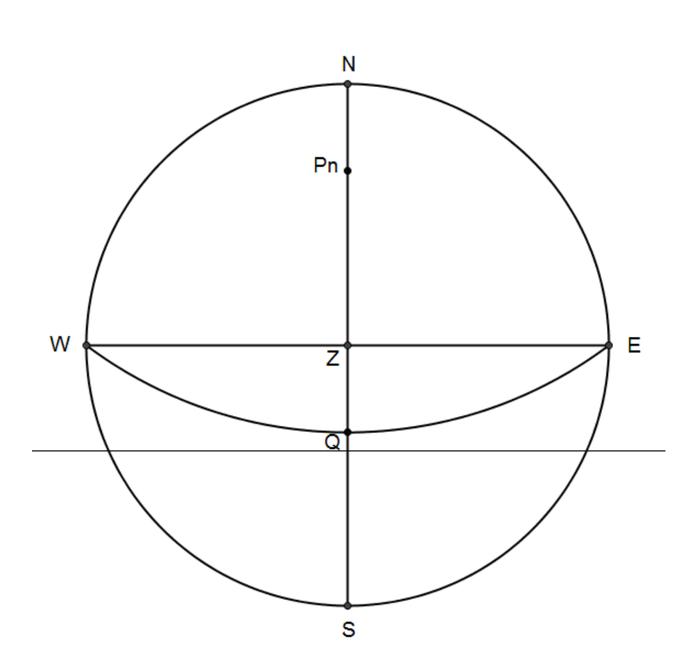
Lat(30S) – h(31.5) – Dec(7S) – AZ(80)

مثال (1) : بطريقة الإسقاط على دائرة الأفق أوجد الزاوية السمتية Az للنجم X إذا علمت أن :

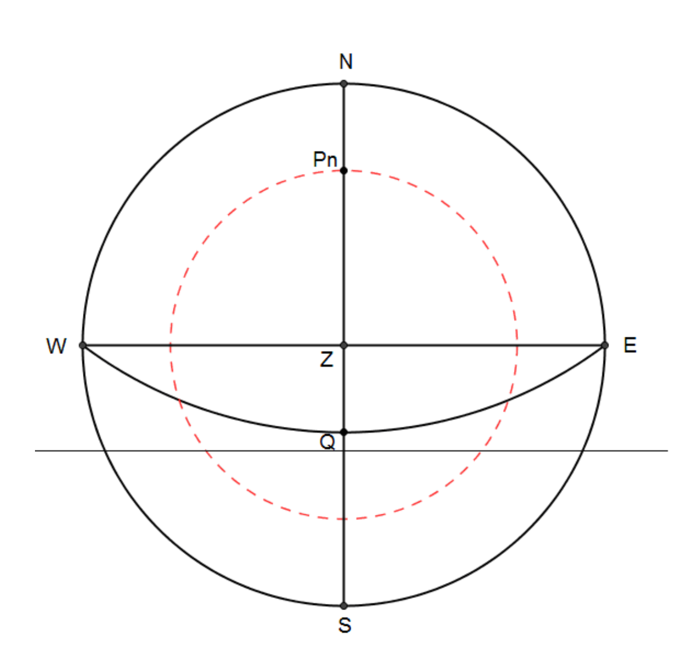
البعد السمتي ZD	الزاوية الساعية المحلية LHA	عرض الراصد Lat
60°	290°	30° N

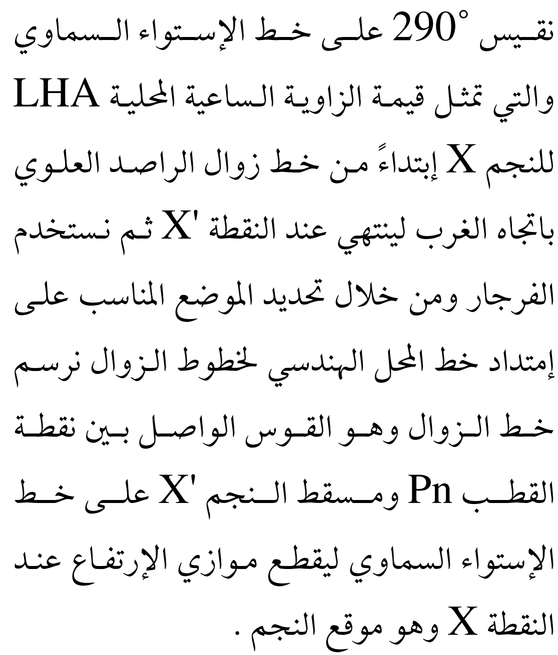
مقياس الرسم المستخدم 1 مم لكل 2°

نرسم دائرة نصف قطرها 45 مم تمثل دائرة الأفق ونخط خطاً رأسياً ماراً بمركز تلك الدائرة يمثل خط زوال الراصد ثم نقيم عليه خطاً آخر عمودي ماراً كذلك بمركز الدائرة يمثل الدائرة الرأسية الأولى ومن ثم نحدد نقطة إرتفاع القطب الشمالي Pn بمعلومية عرض الراصد والذي يعادل 15 مم بمقياس الرسم وبنفس القيمة كذلك نحدد نقطة Q ونرسم قوس خط الإستواء السماوي WQE وأخيراً نحدد المحل الهندسي لرسم خطوط الزوال .

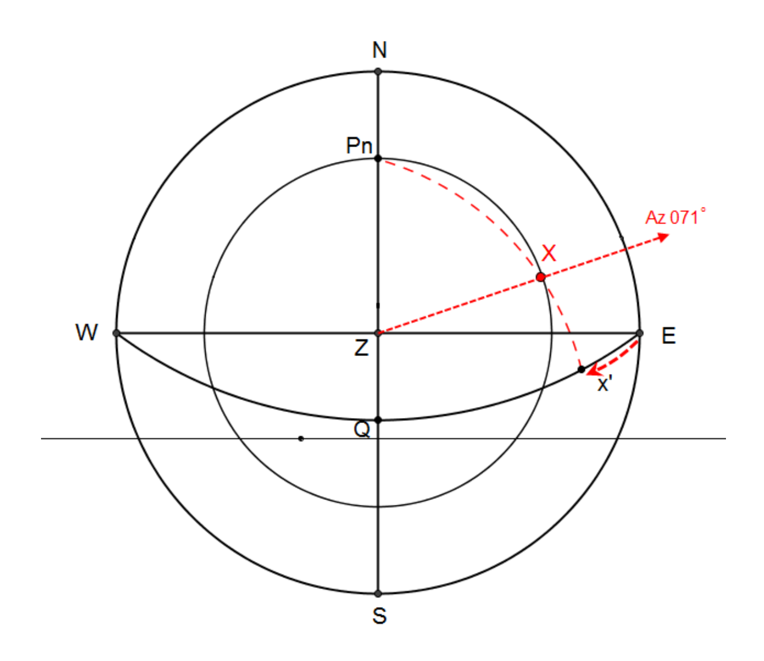


نفتح الفرجار بمقدار 30 مم ونرسم دائرة مركزها سمت الراصد Z تمثل قيمة البعد السمتي للنجم X حيث سيكون واقعاً على أي نقطة من محيط هذه الدائرة .





نقيس 290° على خط الإستواء السماوي والتي تمثل قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم X إبتداءً من خط زوال الراصد العلوي باتجاه الغرب لينتهي عند النقطة X' ثم نستخدم الفرجار ومن خلال تحديد الموضع المناسب على إمتداد خط المحل الهندسي لخطوط الزوال نرسم خط الزوال وهو القوس الواصل بين نقطة القطب Pn ومسقط النجم X' على خط الإستواء السماوي ليقطع موازي الإرتفاع عند النقطة X وهو موقع النجم .



نحدد الزاوية السمتية Az باستخدام المسطرة وذلك برسم خط مستقيم من نقطة سمت الراصد Z باتجاه موقع النجم X حيث يمثل هذا الخط الدائرة الرأسية المارة به ثم وباستخدام المنقلة نقيس هذه الزاوية لنجدها تعادل 071° وهو إتجاه النجم المطلوب .

الفصل الثالث

مواقع النجوم

تمهيد

إقترح عالم الفلك الألماني جوهان باير (1572 – 1625) في عام 1603م طريقة جديدة في تسمية النجوم وتمييزها بعضها عن بعض، وذلك باستخدام حروف الأبجدية اليونانية التي تتكون من 24 حرفاً في ترميز النجوم بحسب شدة لمعانها في كل كوكبة نجمية على حده، والتي تبلغ 88 كوكبة بحيث يرمز للنجم الألمع في كوكبة ما بالرمز ألفا (α) ثم الرمز بيتا (β) للذي يليه في اللمعان من نفس الكوكبة ثم الرمز جاما (γ) ثم دلتا (δ)، وهكذا ...ألخ ،إلا أن هذا التسلسل الذي يأتي بحسب شدة اللمعان ليس شرطاً لكنه الغالب. وتتبع هذه الرموز بكتابة إسم الكوكبة النجمية التي يتبعها النجم بالشكل المختصر، فكوكبة الحمل Aries تكتب إختصاراً Ari، وكوكبة السرطان Cancer تكتب إختصاراً Cnc، وفي حال تجاوزت أعداد النجوم في الكوكبة الواحدة عدد الحروف اليونانية يتم الإستعانة بالحروف الرومانية الصغيرة a , b , c ،ومن ثم تليها الحروف الكبيرة، ومع هذا الأسلوب في ترميز النجوم فقد إحتفظت ألمع نجوم السماء بأسمائها الخاصة والمعروفة والمتداولة بين الناس، فعلى سبيل المثال نجم ألفا الجبار α Ori هو منكب الجوزاء Betelgeuse، ونجم ألفا الكلب الأكبر α CMa هو الشعرى اليمانية Sirius .

في هذا الفصل أدرجنا إحداثيات ثلاثمائة نجم كما جاءت في التقويم الفلكي لسنة 2014 الصادر عن مرصد البحرية الأمريكية بالإشتراك مع مكتب المسح الهيدروغرافي بالمملكة المتحدة، هذه النجوم المختارة هي من القدر الظاهري 3.5 فأكثر لمعاناً مرتبة تصاعدياً بحسب مطالعها المستقيمة ومحصورة في مدى ميل من °70 جنوب وحتى °90 شمال، وهذا ما يفترض مشاهدته من النجوم في منطقتنا الجغرافية .

الحرف	اللفظ	الحرف	اللفظ	الحرف	اللفظ
α	ألفا	ι	إيوتا	ρ	رو
β	بيتا	κ	كابا	σ	سيغما
γ	غاما	λ	لامدا	τ	تاو
δ	دلتا	μ	ميو	υ	أبسلون
ε	إبسلون	ν	نيو	φ	فاي
ζ	زيتا	ξ	زاي	χ	تشي
η	إيتا	ο	أوميكرون	ψ	بساي
θ	ثيتا	π	باي	ω	أوميغا

جدول الحروف اليونانية ولفظها

قائمة الكوكبات النجمية

رقم	الكوكبة (عربي)	الكوكبة (إنجليزي)	إختصار
1	المرأة المسلسلة	Andromeda	And
2	العواء	Bootes	Boo
3	الدلفين	Delphinus	Del
4	التنين	Draco	Dra
5	المثلث	Triangulum	Tri
6	ممسك الأعنة	Auriga	Aur
7	قطعة الفرس	Equuleus	Equ
8	الدب الأكبر	Ursa Major	UMa
9	الجاثي	Hercules	Her
10	ذات الكرسي	Cassiopeia	Cas
11	الملتهب	Cepheus	Cep
12	الدب الأصغر	Ursa Minor	UMi
13	السرطان	Cancer	Cnc
14	القيثارة	Lyra	Lyr
15	الإكليل الشمالي	Corona Borealis	CrB
16	الفرس الأعظم	Pegasus	Peg
17	حامل رأس الغول	Perseus	Per
18	السهم	Sagitta	Sge
19	الدجاجة	Cygnus	Cyg
20	الحمل	Aries	Ari
21	التوأمان	Gemini	Gem
22	العقاب	Aquila	Aql

رقم	الكوكبة (عربي)	الكوكبة (إنجليزي)	إختصار
23	الجبار	Orion	Ori
24	الحية	Serpens	Ser
25	الحوت	Pisces	Psc
26	الكلب الأصغر	Canis Minor	CMi
27	الأسد	Leo	Leo
28	الثور	Taurus	Tau
29	المجمرة	Ara	Ara
30	الباطية	Crater	Crt
31	الكلب الأكبر	Canis Major	CMa
32	الأرنب	Lepus	Lep
33	الغراب	Corvus	Crv
34	الرامي	Sagittarius	Sgr
35	العقرب	Scorpius	Sco
36	الجدي	Capricornus	Cap
37	الإكليل الجنوبي	Corona Australis	CrA
38	الحوت الجنوبي	Piscis Austrinus	PsA
39	الميزان	Libra	Lib
40	السبع	Lupus	Lup
41	القنطور	Centaurus	Cen
42	العذراء	Virgo	Vir
43	الحواء	Ophiuchus	Oph
44	النهر	Eridanus	Eri

تابع قائمة الكوكبات النجمية

رقم	الكوكبة (عربي)	الكوكبة (إنجليزي)	إختصار
45	قيطس	Cetus	Cet
46	الدلو	Aquarius	Aqr
47	الشجاع	Hydra	Hya
48	الحرباء	Chamaeleon	Cha
49	الذبابة	Musca	Mus
50	السمكة الطائرة	Volans	Vol
51	الهندي	Indus	Ind
52	حية الماء	Hydrus	Hyi
53	الكركي	Grus	Gru
54	طائر الفردوس	Apus	Aps
55	الطاووس	Pavo	Pav
56	العنقاء	Phoenix	Phe
57	أبي سيف	Dorado	Dor
58	المثلث الجنوبي	Triangulum Australe	TrA
59	الطوقان	Tucana	Tuc
60	العظاءة	Lacerta	Lac
61	الثعلب	Vulpecula	Vul
62	السلوقيان	Canes Venatici	CVn
63	الأسد الأصغر	Leo Minor	LMi
64	الوشق	Lynx	Lyn
65	الترس	Scutum	Sct
66	السدس	Sextans	Sex

رقم	الكوكبة (عربي)	الكوكبة (إنجليزي)	إختصار
67	الكوثل	Puppis	Pup
68	معمل النحات	Sculptor	Scl
69	الكور	Fornax	For
70	آلة النقاش	Caelum	Cae
71	القاعدة	Carina	Car
72	مفرغة الهواء	Antlia	Ant
73	آلة الرسام	Pictor	Pic
74	المجهر	Microscopium	Mic
75	الشبكة	Reticulum	Ret
76	الثمن	Octans	Oct
77	الساعة	Horologium	Hor
78	بيت الإبرة	Pyxis	Pyx
79	الشراع	Vela	Vel
80	الجبل	Mensa	Men
81	المرقب	Telescopium	Tel
82	مربع النجار	Norma	Nor
83	البيكار	Circinus	Cir
84	الزرافة	Camelopardalis	Cam
85	صليب الجنوب	Crux	Cru
86	الحمامة	Columba	Col
87	وحيد القرن	Monoceros	Mon
88	الهلبة	Coma Berenices	Com

مواقع النجـوم

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبة	إنجليزي	عربي	
+ 29° 10′ 14″	$00^h\ 09^m\ 08^s$	α المرأة المسلسلة	Alpheratz	سـرة الفرس	2.06 15
+ 59° 13′ 47″	$00^h\ 09^m\ 58^s$	β ذات الكرسي	Caph	الكف الخضيب	2.27 21
+ 15° 15′ 51″	$00^h\ 13^m\ 59^s$	γ الفرس الأعظم	Algenib	الجنب	2.83 39
- 08° 44′ 37″	$00^h\ 20^m\ 10^s$	ι قيطس	Deneb Al Shemali	ذنب قيطس الشمالي	3.56 74
- 42° 13′ 38″	$00^h\ 27^m\ 00^s$	α العنقاء	Ankaa	العنقاء	2.39 99
+ 30° 56′ 25″	$00^h\ 40^m\ 06^s$	δ المرأة المسلسلة	Delta And	وسط المنكبين	3.27 165
+ 56° 37′ 00″	$00^h\ 41^m\ 20^s$	α ذات الكرسي	Schedar	صدر ذات الكرسي	2.23 168
- 17° 54′ 26″	$00^h\ 44^m\ 19^s$	β قيطس	Deneb Kaitos	ذنب قيطس الجنوبي	2.04 188
+ 57° 53′ 30″	$00^h\ 50^m\ 00^s$	η ذات الكرسي	Achird	ظهر الناقة	3.44 219
+ 60° 47′ 42″	$00^h\ 57^m\ 36^s$	γ ذات الكرسي	Gamma Cas	غاما ذات الكرسي	2.47 264
- 46° 38′ 27″	$01^h\ 06^m\ 44^s$	β العنقاء	Beta Phe	بيتا العنقاء	3.31 322
- 10° 06′ 21″	$01^h\ 09^m\ 19^s$	η قيطس	Eta Ceti	من النعامات	3.45 334
+ 35° 41′ 49″	$01^h\ 10^m\ 33^s$	β المرأة المسلسلة	Mirach	بطن الحوت	2.06 337
+ 60° 18′ 37″	$01^h\ 26^m\ 47^s$	δ ذات الكرسي	Ruchbah	الركبة	2.68 403
- 43° 14′ 40″	$01^h\ 29^m\ 00^s$	γ العنقاء	Gamma Phe	غاما العنقاء	3.41 429
- 57° 09′ 48″	$01^h\ 38^m\ 15^s$	α النهر	Achernar	آخر النهر	0.46 472
- 15° 51′ 42″	$01^h\ 44^m\ 45^s$	τ قيطس	Tau Ceti	من النعامات	3.50 509
+ 29° 38′ 56″	$01^h\ 53^m\ 55^s$	α المثلث	Mothallah	رأس المثلث	3.41 544
+ 20° 52′ 42″	$01^h\ 55^m\ 27^s$	β الحمل	Sharatan	الشرطان	2.64 553
+ 63° 44′ 27″	$01^h\ 55^m\ 27^s$	ε ذات الكرسي	Segin	إبسلون ذات كرسي	3.38 542

HR : The Bright Star Catalogue, also known as the Yale Catalogue of Bright Stars.

القدر HR	إسم النجم				المطلع المستقيم	الميل
	عربي	إنجليزي	كوكبة			
2.86 591	رأس الحية	Head of Hydrus	α	حية الماء	$01^h 59^m 14^s$	- 61° 29′ 59″
2.26 603	عناق الأرض	Almach	γ	المرأة المسلسلة	$02^h 04^m 48^s$	+ 42° 23′ 55″
2.00 617	الناطح	Hamal	α	الحمل	$02^h 08^m 00^s$	+ 23° 31′ 49″
3.00 622	بيتا المثلث	Beta Tri	β	المثلث	$02^h 10^m 25^s$	+ 35° 03′ 19″
2-10 681	ميرا	Mira	ο	قيطس	$02^h 20^m 05^s$	- 02° 54′ 45″
3.47 804	كف الجذماء	Kaff alijidhma	γ	قيطس	$02^h 44^m 03^s$	+ 03° 17′ 46″
2.02 424	الجدي	Polaris	α	الدب الأصغر	$02^h 49^m 33^s$	+ 89° 19′ 33″
3.24 897	الظليم	Acamar	θ	النهر	$02^h 58^m 49^s$	- 40° 14′ 50″
2.53 911	المنخر	Menkar	α	قيطس	$03^h 03^m 02^s$	+ 04° 08′ 45″
2.93 915	ساعد الثريا	Gamma Per	γ	حامل رأس الغول	$03^h 05^m 52^s$	+ 53° 33′ 44″
3.39 921	من معصم الثريا	Rho Per	ρ	حامل رأس الغول	$03^h 06^m 07^s$	+ 38° 53′ 44″
2.12 936	الغول	Algol	β	حامل رأس الغول	$03^h 09^m 07^s$	+ 41° 00′ 38″
1.79 1017	مرفق الثريا	Mirfak	α	حامل رأس الغول	$03^h 25^m 22^s$	+ 49° 54′ 42″
3.54 1136	دلتا النهر	Delta Eri	δ	النهر	$03^h 43^m 57^s$	- 09° 42′ 55″
3.01 1122	عضد الثريا	Delta Per	δ	حامل رأس الغول	$03^h 43^m 58^s$	+ 47° 49′ 58″
2.87 1165	الكيوني	Alcyone	η	الثور	$03^h 48^m 21^s$	+ 24° 08′ 56″
2.85 1203	من عاتق الثريا	Zeta Per	ζ	حامل رأس الغول	$03^h 55^m 03^s$	+ 31° 55′ 32″
2.95 1231	الزورق	Zaurak	γ	النهر	$03^h 58^m 42^s$	- 13° 28′ 05″
2.89 1220	من معصم الثريا	Epsilon Per	ε	حامل رأس الغول	$03^h 58^m 50^s$	+ 40° 03′ 04″
3.47 1239	لامدا الثور	Lambda Tau	λ	الثور	$04^h 01^m 29^s$	+ 12° 31′ 49″

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبة	إنجليزي	عربي	
- 62° 26′ 16″	$04^h\ 14^m\ 37^s$	الشبكة α	Alpha Ret	مِغزل	3.35 1336
+ 19° 12′ 41″	$04^h\ 29^m\ 28^s$	الثور ε	Epsilon Tau	العين	3.53 1409
+ 15° 54′ 07″	$04^h\ 29^m\ 30^s$	الثور θ	Theta Tau	من القلائص	3.40 1412
- 55° 00′ 55″	$04^h\ 34^m\ 19^s$	أبي سيف α	Alpha Dor	ألفا أبي سيف	3.27 1465
+ 16° 32′ 14″	$04^h\ 36^m\ 45^s$	الثور α	Aldebaran	الدبران	0.85 1457
+ 06° 59′ 08″	$04^h\ 50^m\ 38^s$	الجبار π	Tabit	الثابت	3.19 1543
+ 33° 11′ 16″	$04^h\ 57^m\ 56^s$	ممسك الأعنة ι	Hassaleh	كعب ذي العنان	2.69 1577
+ 43° 50′ 36″	$05^h\ 03^m\ 01^s$	ممسك الأعنة ε	Almaaz	المعز	2.99 1605
- 22° 21′ 09″	$05^h\ 06^m\ 05^s$	الأرنب ε	Epsilon Lep	ذقن الأرنب	3.19 1654
+ 41° 15′ 10″	$05^h\ 07^m\ 32^s$	ممسك الأعنة η	Hoedus II	الجدي الثاني	3.17 1641
- 05° 04′ 07″	$05^h\ 08^m\ 34^s$	النهر β	Cursa	الكرسي	2.79 1666
- 16° 11′ 21″	$05^h\ 13^m\ 35^s$	الأرنب μ	Mu Lep	إذن الأرنب	3.31 1702
- 08° 11′ 09″	$05^h\ 15^m\ 14^s$	الجبار β	Rigel	رجل الجبار	0.12 1713
+ 46° 00′ 40″	$05^h\ 17^m\ 46^s$	ممسك الأعنة α	Capella	العيوق	0.08 1708
- 02° 23′ 05″	$05^h\ 25^m\ 12^s$	الجبار η	Algiebba	إيتا الجبار	3.36 1788
+ 06° 21′ 42″	$05^h\ 25^m\ 55^s$	الجبار γ	Bellatrix	الناجذ	1.64 1790
+ 28° 37′ 06″	$05^h\ 27^m\ 13^s$	الثور β	Elnath	النطح	1.65 1791
- 20° 44′ 56″	$05^h\ 28^m\ 52^s$	الأرنب β	Nihal	نهال	2.84 1829
- 00° 17′ 22″	$05^h\ 32^m\ 45^s$	الجبار δ	Mintaka	المنطقة	2.23 1852
- 17° 48′ 46″	$05^h\ 33^m\ 22^s$	الأرنب α	Arneb	الأرنب	2.58 1865

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجم			القدر HR
		كوكبة	إنجليزي	عربي	
+ 09° 56′ 34″	$05^h 35^m 56^s$	λ الجبار	Meissa	ميسان	3.54 1879
- 05° 54′ 05″	$05^h 36^m 09^s$	ι الجبار	Nair al Saif	نير السيف	2.77 1899
- 01° 11′ 37″	$05^h 36^m 57^s$	ε الجبار	Alnilam	النظام	1.70 1903
+ 21° 09′ 01″	$05^h 38^m 31^s$	ζ الثور	Alheka	زيتا الثور	3.00 1910
- 34° 04′ 02″	$05^h 40^m 11^s$	α الحمامة	Phact	فاختة	2.64 1956
- 01° 56′ 09″	$05^h 41^m 30^s$	ζ الجبار	Alnitak	النطاق	2.03 1948
- 14° 49′ 03″	$05^h 47\ 37^s$	ζ الأرنب	Zeta Lep	زيتا الأرنب	3.55 1998
- 09° 39′ 56″	$05^h 48^m 27^s$	κ الجبار	Saiph	سيف	2.06 2004
- 35° 45′ 49″	$05^h 51^m 28^s$	β الحمامة	Wezn	وزن	3.12 2040
+ 07° 24′ 31″	$05^h 55^m 57^s$	α الجبار	Betelgeuse	منكب الجوزاء	0.50 2061
+ 44° 56′ 51″	$06^h 00^m 36^s$	β ممسك الأعنة	Menkalinan	منكب ذي العنان	1.90 2088
+ 37° 12′ 44″	$06^h 00^m 43^s$	θ ممسك الأعنة	Theta Aur	ثيتا ممسك الأعنة	2.62 2095
+ 22° 30′ 05″	$06^h 15^m 45^s$	η التوأمان	Tejat Prior	التحياة المقدم	3.28 2216
- 30° 04′ 14″	$06^h 20^m 52^s$	ζ الكلب الأكبر	Furud	من الفرود	3.02 2282
- 17° 57′ 50″	$06^h 23^m 20^s$	β الكلب الأكبر	Mirzam	المرزم	1.98 2294
+ 22° 30′ 18″	$06^h 23^m 50^s$	μ التوأمان	Tejat Posterior	التحياة المؤخر	2.88 2286
- 52° 42′ 15″	$06^h 24^m 16^s$	α القاعدة	Canopus	سهيل	-0.72 2326
- 43° 12′ 33″	$06^h 38^m 12^s$	ν الكوثل	Nu Pup	نيو الكوثل	3.17 2451
+ 16° 23′ 08″	$06^h 38^m 33^s$	γ التوأمان	Alhena	الهنعة	1.93 2421
+ 25° 06′ 56″	$06^h 44^m 49^s$	ε التوأمان	Mebsuta	ذراع الاسد المبسوطة	2.98 2473

القدر HR	إسم النجم			المطلع المستقيم	الميل
	عربي	إنجليزي	كوكبة		
-1.46 2491	الشعرى اليمانية	Sirius	α الكلب الأكبر	$06^h 45^m 47^s$	- 16° 44′ 13″
3.36 2484	الزر	Alzirr	ξ التوأمان	$06^h 46^m 06^s$	+ 12° 52′ 44″
3.27 2550	الرسام	Alpha Pic	α آلة الرسام	$06^h 48^m 20^s$	- 61° 57′ 26″
2.93 2553	سهيل بلقين	Tau Pup	τ الكوثل	$06^h 50^m 18^s$	- 50° 37′ 56″
1.50 2618	عذارى	Adhara	ε الكلب الأكبر	$06^h 59^m 12^s$	- 28° 59′ 33″
3.47 2646	من العذارى	Sigma CMa	σ الكلب الأكبر	$07^h 02^m 18^s$	- 27° 57′ 23″
3.02 2653	من العذارى	Omicron^{2} CMa	ο الكلب الأكبر	$07^h 03^m 38^s$	- 23° 51′ 19″
1.84 2693	الوزن	Wezen	δ الكلب الأكبر	$07^h 08^m 59^s$	- 26° 25′ 01″
2.70 2773	باي الكوثل	Pi Pup	π الكوثل	$07^h 17^m 39^s$	- 37° 07′ 27″
3.53 2777	وسط	Wasat	δ التوأمان	$07^h 20^m 59^s$	+ 21° 57′ 16″
2.45 2827	عذرة الجوزاء	Aludra	η الكلب الأكبر	$07^h 24^m 40^s$	- 29° 19′ 56″
2.90 2845	الغميصاء	Gomeisa	β الكلب الأصغر	$07^h 27^m 56^s$	+ 08° 15′ 33″
3.25 2878	سيغما الكوثل	Sigma Pup	σ الكوثل	$07^h 29^m 41^s$	- 43° 19′ 53″
1.98 2891	رأس التوأم المقدم	Castor	α التوأمان	$07^h 35^m 31^s$	+ 31° 51′ 19″
0.38 2943	الشعرى الشامية	Procyon	α الكلب الأصغر	$07^h 40^m 04^s$	+ 05° 11′ 13″
3.57 2985	كابا التوأمان	Kappa Gem	κ التوأمان	$07^h 45^m 19^s$	+ 24° 21′ 44″
1.14 2990	رأس التوأم المؤخر	Pollux	β التوأمان	$07^h 46^m 12^s$	+ 27° 59′ 24″
3.34 3045	زاي الكوثل	Asmidiske	ξ الكوثل	$07^h 49^m 54^s$	- 24° 53′ 49″
3.47 3117	تشي القاعدة	Chi Carinae	χ القاعدة	$07^h 57^m 09^s$	- 53° 01′ 18″
2.25 3165	سهيل حضار	Naos	ζ الكوثل	$08^h 04^m 06^s$	- 40° 02′ 41″

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبـة	إنجليزي	عربي	
- 24° 20′ 49″	08h 08m 10s	ρ الكوثل	Tureis	الترس	2.81 3185
- 47° 22′ 47″	08h 09m 59s	γ الشراع	Suhail al Muhlif	سهيل المحلف	1.78 3207
+ 09° 08′ 24″	08h 17m 18s	β السرطان	Altarf	طرف السرطان	3.52 3249
- 59° 33′ 23″	08h 22m 49s	ε القاعدة	Avior	إبسلون القاعدة	1.86 3307
+ 60° 40′ 06″	08h 31m 28s	ο الدب الأكبر	Muscida	الخطم	3.37 3323
- 54° 45′ 45″	08h 45m 06s	δ الشراع	Delta Vel	دلتا الشراع	1.96 3485
+ 06° 21′ 53″	08h 47m 33s	ε الشجاع	Epsilon Hya	إبسلون الشجاع	3.38 3482
+ 05° 53′ 23″	08h 56m 10s	ζ الشجاع	Zeta Hya	زيتا الشجاع	3.11 3547
+ 47° 59′ 02″	09h 00m 12s	ι الدب الأكبر	Talitha	القفزة الثالثة الشمالية	3.14 3569
- 43° 29′ 30″	09h 08m 32s	λ الشراع	Al suhail	سهيل الوزن	2.21 3634
- 59° 01′ 36″	09h 11m 21s	القاعدة	a Car	(أ) القاعدة	3.44 3659
- 69° 46′ 37″	09h 13m 21s	β القاعدة	Miaplacidus	بيتا القاعدة	1.68 3685
- 59° 20′ 11″	09h 17m 29s	ι القاعدة	Aspidiske	إيوتا القاعدة	2.25 3699
+ 34° 19′ 50″	09h 21m 56s	α الوشـق	Alpha Lyn	ألفا الوشـق	3.13 3705
- 55° 04′ 23″	09h 22m 34s	κ الشراع	Kappa Vel	كابا الشراع	2.50 3734
- 08° 43′ 19″	09h 28m 18s	α الشجاع	Alphard	الفرد	1.98 3748
- 57° 05′ 55″	09h 31m 40s	الشراع	N Vel	(ن) الشراع	3.13 3803
+ 51° 36′ 37″	09h 33m 49s	θ الدب الأكبر	Theta UMa	ثيتا الدب الأكبر	3.17 3775
+ 09° 49′ 33″	09h 41m 55s	ο الأسد	Omicron Leo	مخلب الأسد	3.52 3852
+ 23° 42′ 25″	09h 46m 40s	ε الأسد	Ras Elased Australis	الجنوبي	2.98 3873

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبـة	إنجليزي	عربي	
- 65° 08′ 22″	$09^h\ 47^m\ 28^s$	القاعدة υ	Upsilon Car	أبسلون القاعدة	3.01 3890
+ 16° 41′ 29″	$10^h\ 08^m\ 07^s$	الأسد η	Eta Leo	من الجبهة	3.52 3975
+ 11° 53′ 45″	$10^h\ 09^m\ 09^s$	الأسد α	Regulus	المليك	1.35 3982
+ 23° 20′ 40″	$10^h\ 17^m\ 30^s$	الأسد ζ	Adhafera	الضفيرة	3.44 4031
- 61° 24′ 18″	$10^h\ 17^m\ 34^s$	القاعدة	Q Car	(كيو) القاعدة	3.40 4050
+ 42° 50′ 29″	$10^h\ 17^m\ 58^s$	الدب الأكبر λ	Tania Borealis	القفزة الثانية الشمالية	3.45 4033
+ 19° 46′ 04″	$10^h\ 20^m\ 46^s$	الأسد γ	Algieba	الجبهة	2.61 4057
+ 41° 25′ 34″	$10^h\ 23^m\ 11^s$	الدب الأكبر μ	Tania Australis	القفزة الثانية الجنوبية	3.05 4069
- 61° 45′ 37″	$10^h\ 32^m\ 33^s$	القاعدة	P Car	(ب) القاعدة	3.32 4140
- 64° 28′ 14″	$10^h\ 43^m\ 29^s$	القاعدة θ	Theta Car	ثيتا القاعدة	2.76 4199
- 49° 29′ 50″	$10^h\ 47^m\ 24^s$	الشراع μ	Mu Vel	ميو الشراع	2.69 4216
- 16° 16′ 11″	$10^h\ 50^m\ 21^s$	الشجاع ν	Nu Hya	نيو الشجاع	3.11 4232
+ 56° 18′ 16″	$11^h\ 02^m\ 43^s$	الدب الأكبر β	Merak	المراق	2.37 4295
+ 61° 40′ 21″	$11^h\ 04^m\ 37^s$	الدب الأكبر α	Dubhe	الدبة	1.80 4301
+ 44° 25′ 10″	$11^h\ 10^m\ 28^s$	الدب الأكبر ψ	Psi UMa	بساي الدب الأكبر	3.01 4335
+ 20° 26′ 39″	$11^h\ 14^m\ 53^s$	الأسد δ	Zosma	ظهر الأسد	2.56 4357
+ 15° 21′ 00″	$11^h\ 15^m\ 00^s$	الأسد θ	Chort	الخرت	3.34 4359
+ 33° 00′ 54″	$11^h\ 19^m\ 16^s$	الدب الأكبر ν	Alula Borealis	القفزة الأولى الشمالية	3.48 4377
- 31° 56′ 17″	$11^h\ 33^m\ 43^s$	الشجاع ξ	Xi Hya	زاي الشجاع	3.54 4450
- 63° 06′ 01″	$11^h\ 36^m\ 27^s$	القنطور λ	Lambda Cen	لامدا القنطور	3.13 4467

القدر HR	إسم النجم			المطلع المستقيم	الميل
	عربي	إنجليزي	كوكبة		
2.14 4534	الصرفة	Denebola	β الأسد	$11^h 49^m 48^s$	+ 14° 29′ 27″
2.44 4554	الفخذ	Phecda	γ الدب الأكبر	$11^h 54^m 35^s$	+ 53° 36′ 51″
2.60 4621	دلتا القنطور	Delta Cen	δ القنطور	$12^h 09^m 07^s$	- 50° 48′ 11″
3.00 4630	منقار الغراب	Minkar	ε الغراب	$12^h 10^m 52^s$	- 22° 42′ 01″
2.80 4656	دلتا صليب الجنوب	Delta Cru	δ صليب الجنوب	$12^h 15^m 55^s$	- 58° 49′ 46″
3.31 4660	المغرز	Megrez	δ الدب الأكبر	$12^h 16^m 08^s$	+ 56° 57′ 08″
2.59 4662	جناح الغراب	Gienah Ghurab	γ الغراب	$12^h 16^m 33^s$	- 17° 37′ 20″
1.33 4730	ألفا صليب الجنوب	Acrux	α صليب الجنوب	$12^h 27^m 25^s$	- 63° 10′ 46″
2.95 4757	الغراب	Algorab	δ الغراب	$12^h 30^m 37^s$	- 16° 35′ 46″
1.63 4763	جاما صليب الجنوب	Gacrux	γ صليب الجنوب	$12^h 31^m 59^s$	- 57° 11′ 39″
2.65 4786	كراز	Kraz	β الغراب	$12^h 35^m 09^s$	- 23° 28′ 36″
2.69 4798	بدن الذبابة	Alpha Mus	α الذبابة	$12^h 38^m 04^s$	- 69° 12′ 55″
2.17 4819	المحلفين	Muhlifain	γ القنطور	$12^h 42^m 19^s$	- 49° 02′ 21″
3.48 4825	جاما العذراء	Porrima	γ العذراء	$12^h 42^m 24^s$	- 01° 31′ 44″
3.05 4844	عين الذبابة	Beta Mus	β الذبابة	$12^h 47^m 11^s$	- 68° 11′ 14″
1.25 4853	بيتا صليب الجنوب	Mimosa	β صليب الجنوب	$12^h 48^m 35^s$	- 59° 46′ 04″
1.77 4905	الجون	Alioth	ε الدب الأكبر	$12^h 54^m 40^s$	+ 55° 52′ 53″
3.38 4910	العواء	Auva	δ العذراء	$12^h 56^m 20^s$	+ 03° 19′ 08″
2.90 4915	كبد السماء	Cor Caroli	α السلوقيان	$12^h 56^m 42^s$	+ 38° 14′ 25″
2.83 4932	إبسلون العذراء	Vindemiatrix	ε العذراء	$13^h 02^m 54^s$	+ 10° 52′ 53″

القدر HR	إسم النجم			المطلع المستقيم	الميـل
	عربي	إنجليزي	كوكبة		
3.00 5020	جاما الشجاع	Gamma Hyd	γ الشجاع	$13^h 19^m 43^s$	- 23° 14′ 51″
2.75 5028	إيوتا القنطور	Iota Cen	ι القنطور	$13^h 21^m 25^s$	- 36° 47′ 18″
2.27 5054	المئزر	Mizar	ζ الدب الأكبر	$13^h 24^m 30^s$	+ 54° 51′ 00″
0.98 5056	السماك الأعزل	Spica	α العذراء	$13^h 25^m 58^s$	- 11° 14′ 12″
3.37 5107	زيتا العذراء	Heze	ζ العذراء	$13^h 35^m 26^s$	+ 00° 40′ 10″
2.30 5132	البردون	Birdun	ε القنطور	$13^h 40^m 49^s$	- 53° 32′ 22″
1.86 5191	القائد	Alkaid	η الدب الأكبر	$13^h 48^m 07^s$	+ 49° 14′ 29″
3.41 5190	نيو القنطور	Nu Cen	ν القنطور	$13^h 50^m 23^s$	- 41° 45′ 34″
3.04 5193	ميـو القنطور	Mu Cen	μ القنطور	$13^h 50^m 30^s$	- 42° 32′ 43″
2.68 5235	مفرد الرامح	Muphrid	η العواء	$13^h 55^m 23^s$	+ 18° 19′ 32″
2.55 5231	بطن القنطور	Zeta Cen	ζ القنطور	$13^h 56^m 27^s$	- 47° 21′ 33″
0.61 5267	حضار	Hadar	β القنطور	$14^h 04^m 52^s$	- 60° 26′ 32″
3.27 5287	باي الشجاع	Pi Hyd	π الشجاع	$14^h 07^m 12^s$	- 26° 45′ 06″
2.06 5288	منكب القنطور	Menkent	θ القنطور	$14^h 07^m 32^s$	- 36° 26′ 26″
-0.04 5340	السماك الرامح	Arcturus	α العواء	$14^h 16^m 19^s$	+ 19° 06′ 27″
3.03 5435	حارس	Seginus	γ العواء	$14^h 32^m 40^s$	+ 38° 14′ 43″
2.31 5440	إيتا القنطور	Eta Cen	η القنطور	$14^h 36^m 26^s$	- 42° 13′ 14″
-0.01 5459	رجل القنطور	Rigil Kentaurus	α القنطور	$14^h 40^m 36^s$	- 60° 53′ 40″
2.30 5469	ألفا السبع	Alpha Lup	α السبع	$14^h 42^m 54^s$	- 47° 26′ 58″
3.19 5463	البرجل	Alpha Cir	α البيكار	$14^h 43^m 42^s$	- 65° 02′ 14″

القدر HR	إسم النجم			المطلع المستقيم	الميـل
	عربي	إنجليزي	كوكبة		
2.70 5506	إزار	Izar	ε العواء	$14^h 45^m 37^s$	+ 27° 00′ 49″
2.08 5563	أنور الفرقدين	kochab	β الدب الأصغر	$14^h 50^m 41^s$	+ 74° 05′ 46″
2.75 5531	الزبان الجنوبي	Zuben Elgenubi	α الميزان	$14^h 51^m 41^s$	- 16° 06′ 05″
2.68 5571	بيتا السبع	Beta Lup	β السبع	$14^h 59^m 29^s$	- 43° 11′ 29″
3.13 5576	كابا القنطور	Kappa Cen	κ القنطور	$15^h 00^m 07^s$	- 42° 09′ 41″
3.50 5602	البقار	Nekkar	β العواء	$15^h 02^m 30^s$	+ 40° 20′ 02″
3.29 5603	سيغما الميزان	Brachium	σ الميزان	$15^h 04^m 55^s$	- 25° 20′ 17″
3.41 5649	زيتا السبع	Zeta Lup	ζ السبع	$15^h 13^m 20^s$	- 52° 09′ 12″
3.47 5681	دلتا العواء	Delta Boo	δ العواء	$15^h 16^m 05^s$	+ 33° 15′ 41″
2.61 5685	الزبان الشمالي	Zuben Eschamali	β الميزان	$15^h 17^m 47^s$	- 09° 26′ 08″
2.89 5671	جاما المثلث الجنوبي	Gamma TrA	γ المثلث الجنوبي	$15^h 20^m 17^s$	- 68° 43′ 54″
3.05 5735	أخفى الفرقدين	Pherkad	γ الدب الأصغر	$15^h 20^m 43^s$	+ 71° 46′ 57″
3.22 5695	دلتا السبع	Delta Lup	δ السبع	$15^h 22^m 20^s$	- 40° 41′ 56″
3.37 5708	إبسلون السبع	Epsilon Lup	ε السبع	$15^h 23^m 40^s$	- 44° 44′ 27″
3.29 5744	الذيخ	Edasich	ι التنين	$15^h 25^m 15^s$	+ 58° 54′ 56″
2.23 5793	الفكة	Alphecca	α الإكليل الشمالي	$15^h 35^m 18^s$	+ 26° 40′ 00″
2.78 5776	جاما السبع	Gamma Lup	γ السبع	$15^h 36^m 07^s$	- 41° 12′ 52″
2.65 5854	عنق الحية	Unukalhai	α الحية	$15^h 44^m 59^s$	+ 06° 22′ 51″
3.53 5881	ميو الحية	Mu Ser	μ الحية	$15^h 50^m 23^s$	- 03° 28′ 25″
2.85 5897	بيتا المثلث الجنوبي	Beta TrA	β المثلث الجنوبي	$15^h 56^m 26^s$	- 63° 28′ 26″

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبة	إنجليزي	عربي	
- 26° 09′ 17″	$15^h 59^m 44^s$	π العقرب	Pi Sco	الجنوبي من الإكليل	2.89 5944
- 38° 26′ 13″	$16^h 01^m 05^s$	η السبع	Eta Lup	إيتا السبع	3.41 5948
- 22° 39′ 43″	$16^h 01^m 12^s$	δ العقرب	Dschubba	جبهة العقرب	2.32 5953
- 19° 50′ 39″	$16^h 06^m 17^s$	β العقرب	Graffias	زبانى العقرب	2.62 5984
- 03° 43′ 50″	$16^h 15^m 06^s$	δ الحواء	Yed Prior	اليد المتقدمة	2.74 6056
- 04° 43′ 37″	$16^h 19^m 05^s$	ε الحواء	Yed Posterior	اليد المتأخرة	3.24 6075
- 25° 37′ 35″	$16^h 22^m 04^s$	σ العقرب	Al Niyat	النياط	2.89 6084
+ 61° 28′ 54″	$16^h 24^m 11^s$	η التنين	Aldhibain	الذئب المؤخر	2.74 6132
- 26° 27′ 47″	$16^h 30^m 18^s$	α العقرب	Antares	القلب	0.96 6134
+ 21° 27′ 32″	$16^h 30^m 51^s$	β الجاثي على ركبته	Kornephoros	حامل الهراوة	2.77 6148
- 28° 14′ 42″	$16^h 36^m 47^s$	τ العقرب	Tau Sco	نياط القلب	2.82 6165
- 10° 35′ 43″	$16^h 37^m 58^s$	ζ الحواء	Zeta Oph	السابق الأول	2.56 6175
+ 31° 34′ 37″	$16^h 41^m 50^s$	ζ الجاثي على ركبته	Zeta Her	زيتا الجاثي	2.81 6212
+ 38° 53′ 43″	$16^h 43^m 24^s$	η الجاثي على ركبته	Eta Her	إيتا الجاثي	3.53 6220
- 69° 03′ 08″	$16^h 50^m 13^s$	α المثلث الجنوبي	Atria	أتريا	1.92 6217
- 34° 19′ 06″	$16^h 51^m 06^s$	ε العقرب	Wei	أول الفقرة	2.29 6241
- 38° 04′ 15″	$16^h 52^m 51^s$	μ العقرب	Mu Sco	ثاني الفقرة	3.08 6247
- 42° 23′ 05″	$16^h 55^m 36^s$	ζ العقرب	Zeta Sco	ثالث الفقرة	3.59 6271
+ 09° 21′ 12″	$16^h 58^m 21^s$	κ الحواء	Kappa Oph	كابا الحواء	3.20 6299
- 56° 00′ 41″	$16^h 59^m 50^s$	ζ المجمرة	Zeta Ara	زيتا المجمرة	3.13 6285

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبة	إنجليزي	عربي	
+ 65° 41′ 49″	$17^h 08^m 50^s$	ζ التنين	Zeta Dra	الذئب المقدم	3.17 6396
- 15° 44′ 30″	$17^h 11^m 13^s$	η الحواء	Sabik	السابق	2.43 6378
- 43° 15′ 25″	$17^h 13^m 12^s$	η العقرب	Eta Sco	رابع الفقرة	3.33 6380
+ 14° 22′ 29″	$17^h 15^m 19^s$	α الجاثي على ركبته	Rasalgethi	رأس الجاثي	3.48 6406
+ 36° 47′ 37″	$17^h 15^m 33^s$	π الجاثي على ركبته	Pi Her	باي الجاثي	3.16 6418
+ 24° 49′ 23″	$17^h 15^m 38^s$	δ الجاثي على ركبته	Sarin	سارين	3.14 6410
- 25° 00′ 46″	$17^h 22^m 54^s$	θ الحواء	Theta Oph	ثيتا الحواء	3.27 6453
- 55° 32′ 31″	$17^h 26^m 31^s$	β المجمرة	Beta Ara	بيتا المجمرة	2.85 6461
- 56° 23′ 23″	$17^h 26^m 37^s$	γ المجمرة	Gamma Ara	جاما المجمرة	3.34 6462
+ 52° 17′ 28″	$17^h 30^m 46^s$	β التنين	Rastaban	رأس الثعبان	2.79 6536
- 37° 18′ 22″	$17^h 31^m 45^s$	υ العقرب	Lesath	اللسعة	2.69 6508
- 49° 53′ 10″	$17^h 32^m 58^s$	α المجمرة	Alpha Ara	ألفا المجمرة	2.95 6510
- 37° 06′ 47″	$17^h 34^m 36^s$	λ العقرب	Shaula	الشولة	1.63 6527
+ 12° 33′ 02″	$17^h 35^m 37^s$	α الحواء	Rasalhague	رأس الحواء	2.08 6556
- 43° 00′ 20″	$17^h 38^m 22^s$	θ العقرب	Sargas	خامس الفقرة	1.87 6553
- 15° 24′ 24″	$17^h 38^m 25^s$	ξ الحية	Xi Ser	زاي الحية	3.54 6561
- 39° 02′ 10″	$17^h 43^m 30^s$	κ العقرب	Girtab	آخر الفقار	2.41 6580
+ 04° 33′ 44″	$17^h 44^m 11^s$	β الحواء	Cebalrai	كلب الراعي	2.77 6603
+ 27° 42′ 47″	$17^h 47^m 02^s$	μ الجاثي على ركبته	Mu Her	ميو الجاثي	3.42 6623
- 40° 07′ 52″	$17^h 48^m 36^s$	ι العقرب	Iota Sco	سادس الفقرة	3.03 6615

القدر HR	إسم النجم			المطلع المستقيم	الميـل
	عربي	إنجليزي	كوكبة		
3.21 6630	تالي الشولة	G Sco	العقرب	$17^h 50^m 51^s$	- 37° 02′ 48″
2.23 6705	التنين	Eltanin	γ التنين	$17^h 56^m 57^s$	+ 51° 29′ 16″
3.34 6698	نيو الحواء	Nu Oph	ν الحواء	$17^h 59^m 50^s$	- 09° 46′ 27″
2.99 6746	النصل	Alnasl	γ الرامي	$18^h 06^m 44^s$	- 30° 25′ 21″
3.11 6832	الكعب المقدم	Arkab	η الرامي	$18^h 18^m 37^s$	- 36° 45′ 22″
2.70 6859	وسط القوس	Kaus Meridianalis	δ الرامي	$18^h 21^m 55^s$	- 29° 49′ 14″
3.26 6869	إيتا الحية	Eta Ser	η الحية	$18^h 22^m 04^s$	- 02° 53′ 38″
1.85 6879	القوس الجنوبي	Kaus Australis	ε الرامي	$18^h 25^m 08^s$	- 34° 22′ 35″
3.51 6897	مقراب	Alpha Tel	α المرقب	$18^h 28^m 03^s$	- 45° 57′ 32″
2.81 6913	القوس الشمالي	Kaus Borealis	λ الرامي	$18^h 28^m 52^s$	- 25° 24′ 45″
0.03 7001	النسر الواقع	Vega	α القيثارة	$18^h 37^m 26^s$	+ 38° 47′ 52″
3.17 7039	من النعام الصادر	Phi Sgr	φ الرامي	$18^h 46^m 34^s$	- 26° 58′ 29″
3.45 7106	السلباق	Sheliak	β القيثارة	$18^h 50^m 37^s$	+ 33° 22′ 49″
2.02 7121	من النعام الصادر	Nunki	σ الرامي	$18^h 56^m 10^s$	- 26° 16′ 39″
3.51 7150	زاي الرامي	Xi^2 Sgr	ξ الرامي	$18^h 58^m 36^s$	- 21° 05′ 11″
3.24 7178	السلحفاة	Sulafat	γ القيثارة	$18^h 59^m 29^s$	+ 32° 42′ 37″
2.60 7194	من النعام الصادر	Ascella	ζ الرامي	$19^h 03^m 32^s$	- 29° 51′ 29″
2.99 7235	ذنب العقاب	Deneb el Okab	ζ العقاب	$19^h 06^m 05^s$	+ 13° 53′ 09″
3.44 7236	لامدا العقاب	Althalimain	λ العقاب	$19^h 07^m 01^s$	- 04° 51′ 35″
3.32 7234	من النعام الصادر	Tau Sgr	τ الرامي	$19^h 07^m 51^s$	- 27° 38′ 53″

الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم				القدر HR
		كوكبة		إنجليزي	عربي	
- 20° 59′ 58″	19^h 10^m 38^s	الرامي	π	Albaldah	البلدة	2.89 7264
+ 67° 41′ 13″	19^h 12^m 33^s	التنين	δ	Altais	التيس	3.07 7310
+ 03° 08′ 41″	19^h 26^m 14^s	العقاب	δ	Delta Aql	دلتا العقاب	3.36 7377
+ 27° 59′ 27″	19^h 31^m 18^s	الدجاجة	β	Albireo	منقار الدجاجة	3.08 7417
+ 45° 10′ 00″	19^h 45^m 26^s	الدجاجة	δ	Delta Cyg	من الفوارس	2.87 7528
+ 10° 38′ 58″	19^h 46^m 57^s	العقاب	γ	Tarazed	الميزان	2.72 7525
+ 08° 54′ 27″	19^h 51^m 29^s	العقاب	α	Altair	النسر الطائر	0.77 7557
+ 19° 31′ 56″	19^h 59^m 24^s	السهم	γ	Gamma Sge	جاما السهم	3.47 7635
+ 00° 46′ 39″	20^h 12^m 03^s	العقاب	θ	Theta Aql	ثيتا العقاب	3.23 7710
- 14° 44′ 05″	20^h 21^m 50^s	الجدي	β	Dabih	سعد الذابح	3.08 7776
+ 40° 18′ 13″	20^h 22^m 45^s	الدجاجة	γ	Sadr	الصدر	2.20 7796
- 56° 41′ 14″	20^h 26^m 47^s	الطاووس	α	Peacock	الطاووس	1.94 7790
- 47° 14′ 24″	20^h 38^m 35^s	الهندي	α	Alpha Ind	ألفا الهندي	3.11 7869
+ 45° 19′ 58″	20^h 41^m 56^s	الدجاجة	α	Deneb	الردف	1.25 7924
+ 61° 53′ 43″	20^h 45^m 35^s	الملتهب	η	Eta Cep	القِدر	3.43 7957
- 66° 08′ 59″	20^h 46^m 15^s	الطاووس	β	Beta Pav	بيتا الطاووس	3.42 7913
+ 34° 01′ 31″	20^h 46^m 48^s	الدجاجة	ε	Gienah	جناح الدجاجة	2.46 7949
+ 30° 17′ 13″	21^h 13^m 33^s	الدجاجة	ζ	Zeta Cyg	من الفوارس	3.20 8115
+ 62° 38′ 50″	21^h 18^m 56^s	الملتهب	α	Alderamin	مقدم الذراعين	2.44 8162
+ 70° 37′ 28″	21^h 28^m 51^s	الملتهب	β	Alfirk	الفرق	3.23 8238

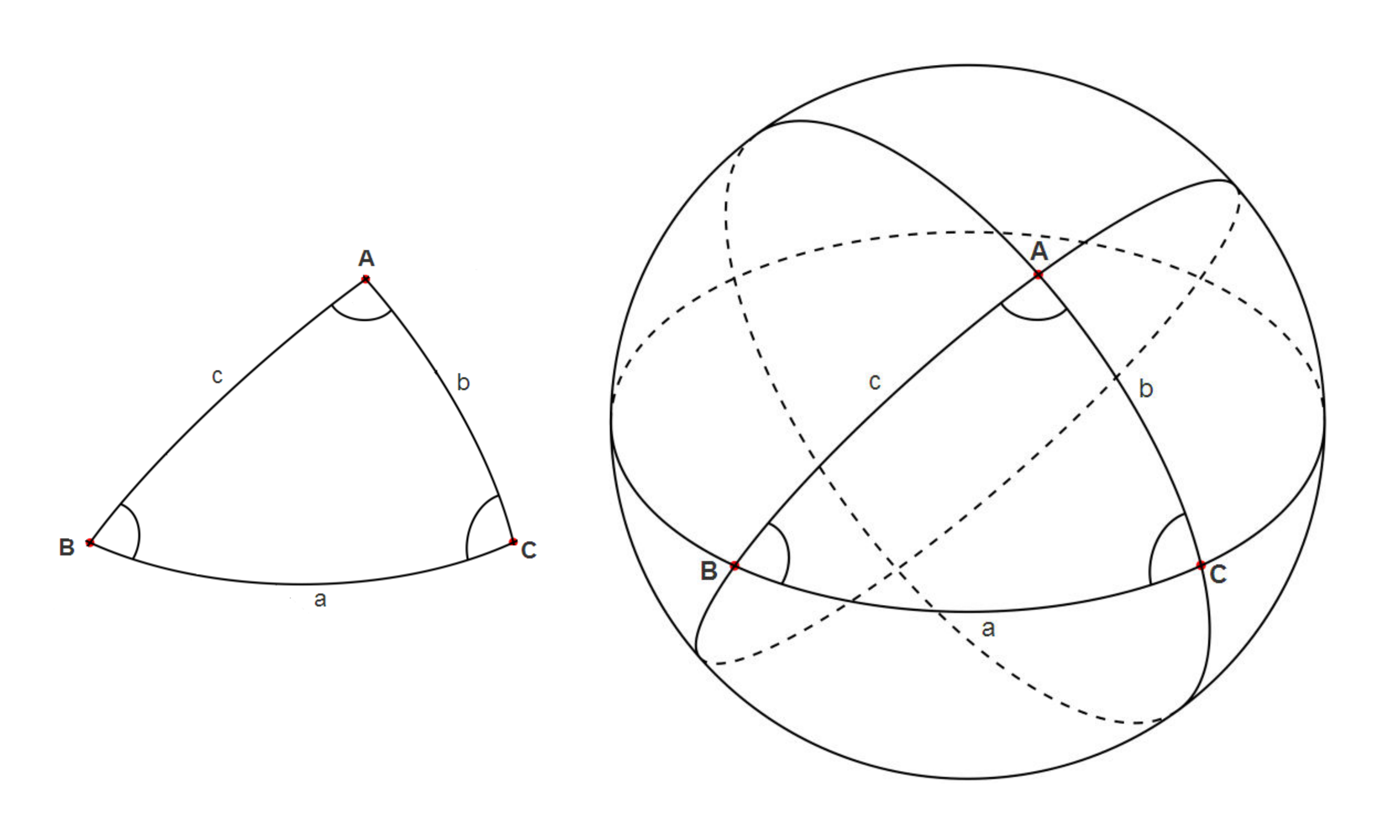
الميـل	المطلع المستقيم	إسـم النجـم			القدر HR
		كوكبة	إنجليزي	عربي	
- 05° 30′ 24″	$21^h 32^m 19^s$	β الدلو	Sadal suud	سعد السعود	2.91 8232
+ 09° 56′ 31″	$21^h 44^m 54^s$	ε الفرس الأعظم	Enif	أنف الفرس	2.39 8308
- 16° 03′ 39″	$21^h 47^m 50^s$	δ الجدي	Deneb Algiedi	ذنب الجدي	2.87 8322
- 37° 17′ 46″	$21^h 54^m 48^s$	γ الكركي	Al Dhanab	ذنب الكركي	3.01 8353
+ 00° 14′ 56″	$22^h 06^m 32^s$	α الدلو	Sadal melik	سعد الملك	2.96 8414
- 46° 53′ 25″	$22^h 09^m 08^s$	α الكركي	Al Nair	النير	1.74 8425
+ 06° 16′ 11″	$22^h 10^m 56^s$	θ الفرس الأعظم	Baham	سعد البهام	3.53 8450
+ 58° 16′ 23″	$22^h 11^m 22^s$	ζ الملتهب	Zeta Cep	زيتا الملتهب	3.35 8465
- 60° 11′ 12″	$22^h 19^m 29^s$	α الطوقان	Alpha Tuc	منقار الطوقان	2.86 8502
+ 10° 54′ 27″	$22^h 42^m 11^s$	ζ الفرس الأعظم	Homam	سعد الهمام	3.40 8634
- 46° 48′ 30″	$22^h 43^m 32^s$	β الكركي	Beta Gru	بيتا الكركي	2.10 8636
+ 30° 17′ 51″	$22^h 43^m 41^s$	η الفرس الأعظم	Matar	سعد مطر	2.94 8650
- 51° 14′ 25″	$22^h 49^m 25^s$	ε الكركي	Epsilon Gru	إبسلون الكركي	3.49 8675
+ 66° 16′ 37″	$22^h 50^m 12^s$	ι الملتهب	Iota Cep	إيوتا الملتهب	3.52 8694
+ 24° 40′ 42″	$22^h 50^m 42^s$	μ الفرس الأعظم	Sadal bari	سعد البارع	3.48 8684
- 15° 44′ 36″	$22^h 55^m 25^s$	δ الدلو	Skat	الساق	3.27 8709
- 29° 32′ 42″	$22^h 58^m 27^s$	α الحوت الجنوبي	Fomalhaut	فم الحوت	1.16 8728
+ 28° 09′ 42″	$23^h 04^m 29^s$	β الفرس الأعظم	Scheat	منكب الفرس	2.42 8775
+ 15° 17′ 01″	$23^h 05^m 29^s$	α الفرس الأعظم	Markab	متن الفرس	2.49 8781
+ 77° 42′ 47″	$23^h 39^m 57^s$	γ الملتهب	Er Rai	الراعي	3.21 8974

الفصل الرابع

المثلث الكروي

المثلث الكروي
Spherical Triangle

يعرف المثلث الكروي على أنه ذلك المثلث المرسوم على سطح كروي، والناتج عن تقاطع ثلاثة دوائر عظمى، ويتكون المثلث الكروي من ستة عناصر وهم ثلاثة زوايا $C \ B \ A$، وثلاثة أضلاع $c \ b \ a$ بحيث تقابل كل زاوية ضلع معين، فالزاوية A تقابل الضلع a، والزاوية B تقابل الضلع b، بينما تقابل الزاوية C الضلع c كما يتضح من خلال الشكل أدناه .

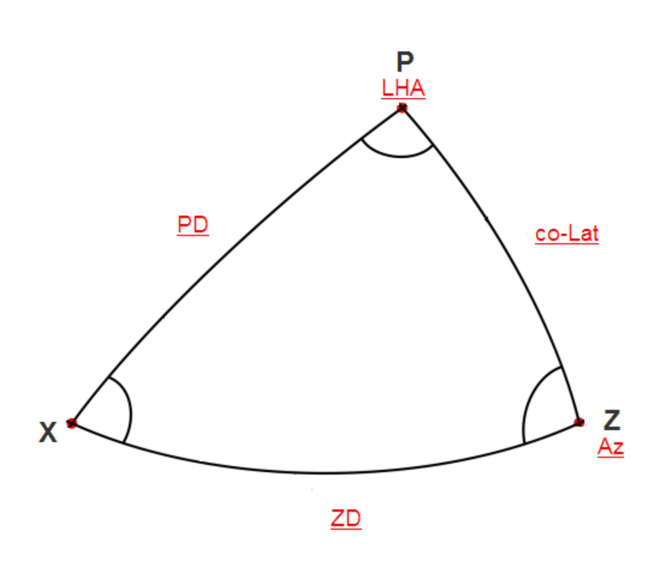


ويعتبر موضوع المثلث الكروي من أهم الموضوعات المرتبطة بعلم الفلك لا سيما الفلك الكروي المعني بتحديد مواقع الأجرام السماوية في وقت ومكان محددين من على سطح الكرة الأرضية ،وقبل الخوض في معادلات ومسائل المثلث الكروي لابد أولاً من التعرف على أهم خصائصة الهندسية وهي :

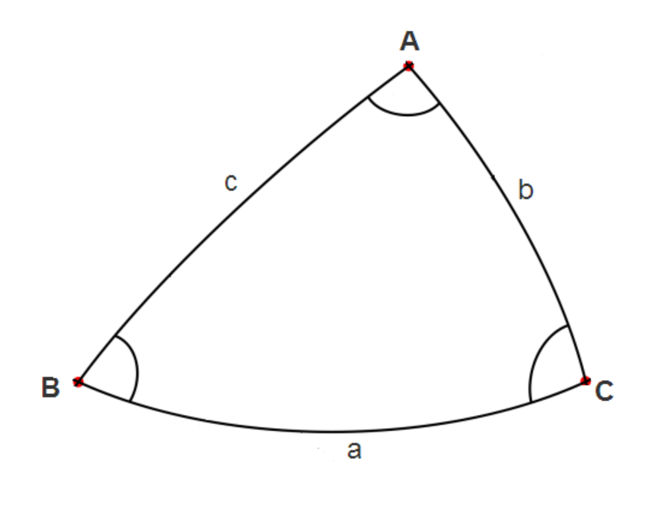
- مجموع زوايا المثلث الكروي أكبر من $180°$ وأقل من $540°$.
- مجموع أضلاع المثلث الكروي أقل من $360°$.
- أكبر ضلع في المثلث الكروي يقابل أكبر زاوية فإذا كانت الزاوية A هي أكبر زاوية في المثلث الكروي ABC فإن الضلع a يكون أكبر أضلاع هذا المثلث .

- يقاس المثلث الكروي بالدرجات والدقائق والثواني القوسية .
- أي زاوية من زوايا المثلث الكروي هي أقل من 180° .
- الزوايا المقابلة للأضلاع المتساوية متساوية والعكس صحيح .
- مجموع أي ضلعين من أضلاع المثلث الكروي هو أكبر من الضلع الثالث .

ولما كان المثلث الفلكي يقع كذلك على كرة هي الكرة السماوية فهو حينئذ يعتبر مثلث كروي ، وتنطبق عليه قوانين المثلث الكروي .



المثلث الفلكي PXZ



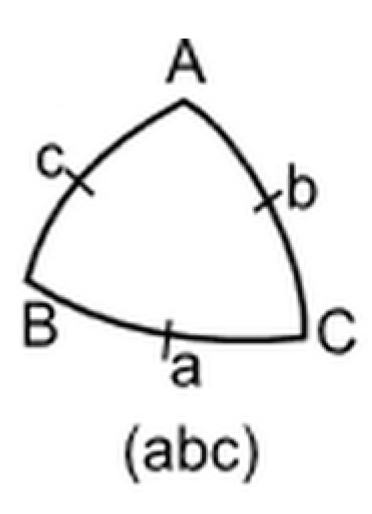
المثلث الكروي ABC

وكما يتكون المثلث الكروي من ثلاثة أضلاع a b c ، وثلاثة زوايا A B C يتكون المثلث الفلكي كذلك من ثلاثة أضلاع وثلاثة زوايا حيث أن :

- الضلع PZ يمثل تمام العرض co-Lat ($90^\circ - Lat$)
- الضلع ZX يمثل البعد السمتي ZD ($90^\circ - h$)
- الضلع PX يمثل البعد القطبي PD ($90^\circ \pm Dec$)
- الزاوية P تمثل الزاوية الساعية المحلية LHA أو الزاوية الخارجة ($360^\circ \sim LHA$)
- الزاوية Z تمثل الزاوية السمتية Az أو الزاوية الخارجة ($360^\circ \sim Az$)
- الزاوية X تمثل الزاوية عند الجرم السماوي X

إن حل المثلث الكروي عبارة عن تلك العملية الحسابية التي يتم من خلالها إيجاد قيم عناصر المثلث الكروي الستة بمعلومية عدد كاف من هذه العناصر، باستخدام مجموعة من المعادلات الرياضية الرئيسية والمشتقة، التي تعبر عن العلاقة بين زوايا هذا المثلث وأضلاعه .

الحالة الأولى : حل المثلث الكروي A B C إذا علم أضلاعة الثلاثة a b c



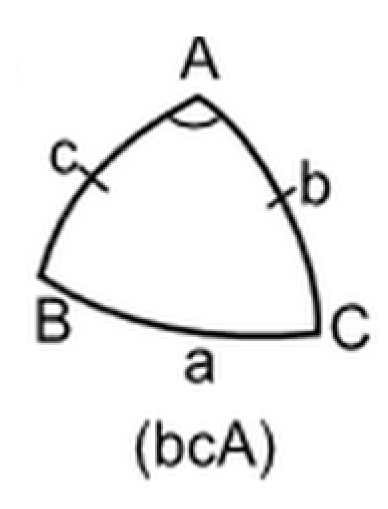
- نستخدم معادلة جيب التمام لإيجاد زوايا المثلث الثلاثة A B C

$$Cos(A) = \frac{Cos(a) - Cos(b)Cos(c)}{Sin(b)Sin(c)}$$

$$Cos(B) = \frac{Cos(b) - Cos(c)Cos(a)}{Sin(c)Sin(a)}$$

$$Cos(C) = \frac{Cos(c) - Cos(a)Cos(b)}{Sin(a)Sin(b)}$$

الحالة الثانية : حل المثلث الكروي A B C إذا علم ضلعين b c ، والزاوية المحصورة A بينهما



- نستخدم معادلة جيب التمام لحساب الضلع a

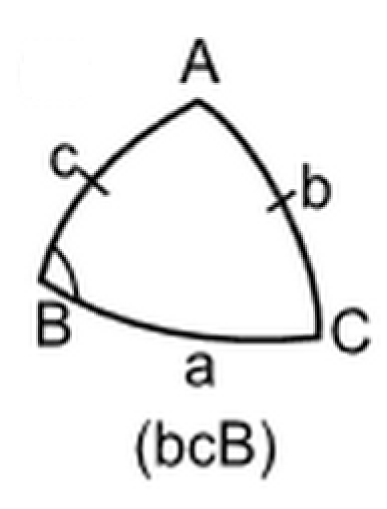
$$Cos(a) = Cos(b)Cos(c) + Sin(b)Sin(c)Cos(A)$$

$$Cos(b) = Cos(c)Cos(a) + Sin(c)Sin(a)Cos(B)$$

$$Cos(c) = Cos(a)Cos(b) + Sin(a)Sin(b)Cos(C)$$

- تصبح الأضلاع الثلاثة a b c معلومة فنعود للحالة الأولى لإيجاد الزاويتين B C

الحالة الثالثة : حل المثلث الكروي A B C إذا علم ضلعين b c ، والزاوية المقابلة B لأحدهما



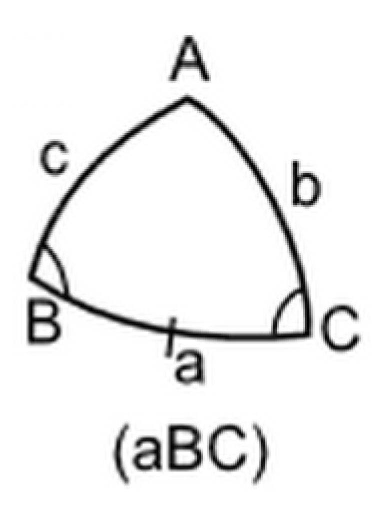
- نستخدم معادلة الجيب لإيجاد الزاوية المقابلة الأخرى C

$$\frac{Sin(A)}{Sin(a)} = \frac{Sin(B)}{Sin(b)} = \frac{Sin(C)}{Sin(c)}$$

ملاحظة : قد يعطي قانون الجيب السابق حلين إثنين يكون أحدهما هو المطلوب في المسائل الفلكية ، ويمكن تحديده بالعودة إلى أحد الخصائص الهندسية للمثلث الكروي والذي ينص على أن أكبر ضلع في المثلث الكروي يقابل أكبر زاوية فإذا كانت الزاوية A هي أكبر زاوية في المثلث الكروي ABC فإن الضلع a يكون أكبر أضلاع هذا المثلث .

- تصبح كل من الزاويتين B C ، والضلعين المقابلين b c معلومة فننتقل للحالة السابعة لإيجاد الزاوية A ، والضلع a

<u>الحالة الرابعة</u> : حل المثلث الكروي A B C إذا علم زاويتين B C ، والضلع المحصور a بينهما



- نستخدم معادلة الأجزاء الأربعة (cBaC) ، و (BaCb) لإيجاد الضلع c ، والضلع b

$$Tan(a) = \frac{Sin(b)Tan(A)}{Sin(C) + Cos(b)Cos(C)Tan(A)} \qquad (aCbA)$$

$$Tan(b) = \frac{Sin(c)Tan(B)}{Sin(A) + Cos(c)Cos(A)Tan(B)} \qquad (bAcB)$$

$$Tan(c) = \frac{Sin(a)Tan(C)}{Sin(B) + Cos(a)Cos(B)Tan(C)} \qquad (cBaC)$$

$$Tan(a) = \frac{Sin(c)Tan(A)}{Sin(B) + Cos(c)Cos(B)Tan(A)} \qquad (AcBa)$$

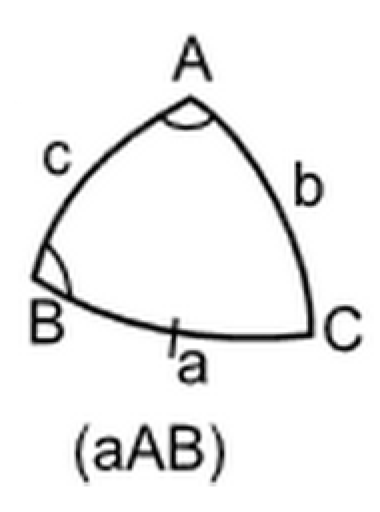
$$Tan(b) = \frac{Sin(a)Tan(B)}{Sin(C) + Cos(a)Cos(C)Tan(B)} \qquad (BaCb)$$

$$Tan(c) = \frac{Sin(b)Tan(C)}{Sin(A) + Cos(b)Cos(A)Tan(C)} \qquad (CbAc)$$

- تصبح الأضلاع الثلاثة a b c معلومة والزاويتين B C كذلك معلومة فيكون إيجاد الزاويـة A ممكناً باستخدام معادلة الجيب أو ننتقل إلى الحالة الأولى حيث أن أضلاع المثلث معلومة .

$$\frac{Sin(A)}{Sin(a)} = \frac{Sin(B)}{Sin(b)} = \frac{Sin(C)}{Sin(c)}$$

الحالة الخامسة : حل المثلث الكروي A B C إذا علم زاويتين A B ،والضلع المقابل a لأحدهما.

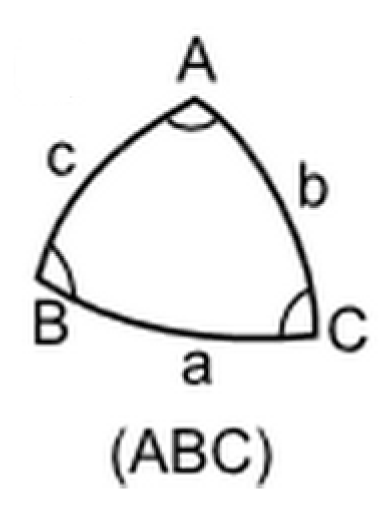


- نستخدم معادلة الجيب لإيجاد الضلع المقابل الأخر b

$$\frac{Sin(A)}{Sin(a)} = \frac{Sin(B)}{Sin(b)} = \frac{Sin(C)}{Sin(c)}$$

- تصبح كل من الزاويتين A B ،والضلعين المقابلين a b معلوم فننتقل للحالة السابعة لإيجاد الزاوية C ،والضلع c

الحالة السادسة : حل المثلث الكروي A B C إذا علم زواياه الثلاثة A B C



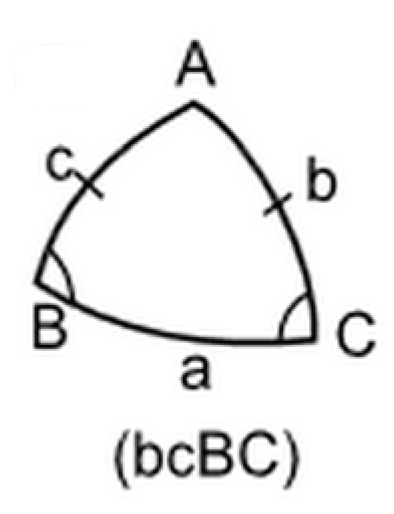
- نستخدم معادلة جيب التمام لإيجاد أضلاع المثلث الثلاثة a b c

$$Cos(a) = \frac{Cos(A) + Cos(B)Cos(C)}{Sin(B)Sin(C)}$$

$$Cos(b) = \frac{Cos(B) + Cos(C)Cos(A)}{Sin(C)Sin(A)}$$

$$Cos(c) = \frac{Cos(C) + Cos(A)Cos(B)}{Sin(A)Sin(B)}$$

<u>الحالة السابعة</u> : حل المثلث الكروي A B C إذا علم زاويتين B C ، وضلعين مقابلين b c



- نستخدم معادلات نابير لإيجاد كل من الضلع a ، والزاوية A

$$Tan\left(\frac{a}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{1}{2}(B+C)\right)Sin\left(\frac{1}{2}(b+c)\right)}{Cos\left(\frac{1}{2}(B-C)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(b+c)\right)}$$

$$Tan\left(\frac{b}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{1}{2}(C+A)\right)Sin\left(\frac{1}{2}(c+a)\right)}{Cos\left(\frac{1}{2}(C-A)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(c+a)\right)}$$

$$Tan\left(\frac{c}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{1}{2}(A+B)\right)Sin\left(\frac{1}{2}(a+b)\right)}{Cos\left(\frac{1}{2}(A-B)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(a+b)\right)}$$

$$Tan\left(\frac{A}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{1}{2}(B+C)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(b-c)\right)}{Sin\left(\frac{1}{2}(B+C)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(b+c)\right)}$$

$$Tan\left(\frac{B}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{1}{2}(C+A)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(c-a)\right)}{Sin\left(\frac{1}{2}(C+A)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(c+a)\right)}$$

$$Tan\left(\frac{C}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{1}{2}(A+B)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(a-b)\right)}{Sin\left(\frac{1}{2}(A+B)\right)Cos\left(\frac{1}{2}(a+b)\right)}$$

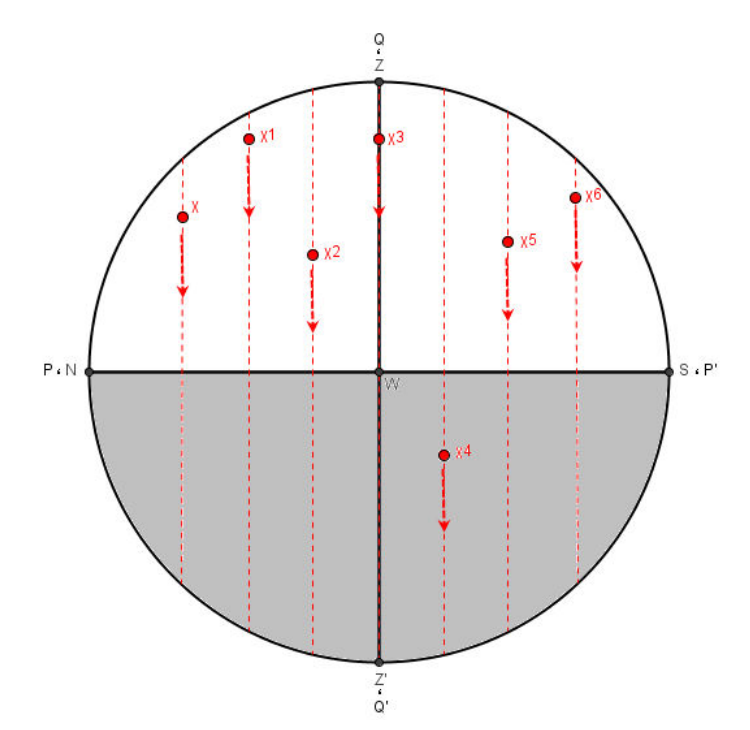
الفصل الخامس

الحركة الظاهرية للأجرام السماوية

الحركة الظاهرية اليومية للأجرام السماوية

نتيجة لدوران الكرة الأرضية حول محورها من الغرب إلى الشرق مرة كل يوم، فإن جملة الأجرام السماوية تتحرك ظاهرياً بحركة عكسية من الشرق إلى الغرب كنتيجة لذلك حيث أنها تشاهد بادىء ذي بدء عند الأفق الشرقي عندما تبدأ بالظهور لترتفع عن الأفق تدريجياً حتى تبلغ أقصى إرتفاع لها فوق الافق، ثم تبدأ بعدها بالإنخفاض باتجاه الأفق الغربي تدريجياً حتى تغرب عند الأفق الغربي ،وتعرف هذه الحركة بالحركة الظاهرية اليومية للأجرام السماوية، وتختلف هذه المشاهدة باختلاف خط عرض الراصد الذي يحدد نقطة سمته ودائرة أفقه، وبالتالي إختلاف صورة السماء المشاهدة ،وفيما يلي بعض الأمثلة لحركة الأجرام السماوية كما تظهر لراصد عند خطوط عرض مختلفة :

<u>أولاً : عند خط الإستواء $Lat = 0°$</u>



ينطبق محور دوران الكرة السماوية 'PP على دائرة الافق NWS كما ينطبق خط الإستواء السماوي 'QQ على الخط الواصل بين السمت والنظير 'ZZ .

تظهر جميع الأجرام السماوية من الأفق الشرقي وتختفي عند الافق الغربي، كما ويستطيع الراصد نظرياً مشاهدة جميع الأجرام السماوية .

تصنع موازيات ميل الأجرام السماوية الشمالية منها والجنوبية زاوية قائمة على مستوى دائرة الافق NWS ، وبالتالي تكون فترة ظهور الأجرام السماوية فوق الافق مساوية نظرياً لفترة إختفائها أسفل الافق .

ثانياً : عند خطوط العرض المدارية $Lat < 23.5^\circ$

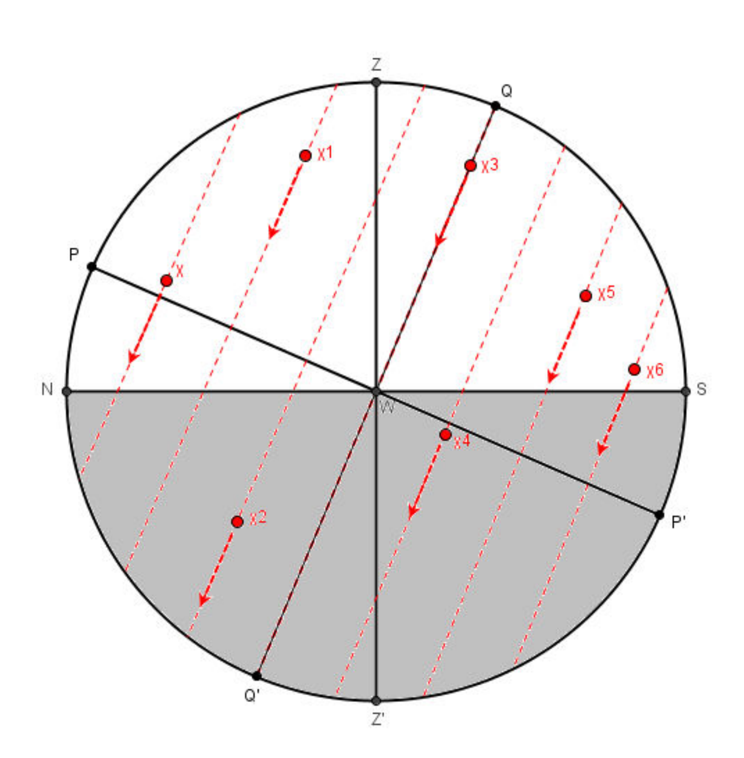
عند خط عرض $23.5^\circ N$ يميل محور دوران الكرة السماوية 'PP على دائرة الافق NWS بنفس درجة خط العرض، كما يميل خط الإستواء السماوي 'QQ عن الخط الواصل بين السمت والنظير 'ZZ بنفس درجة خط العرض.

تظهر الأجرام السماوية من الافق الشرقي وتختفي عند الافق الغربي، كما يستطيع الراصد مشاهدة أغلب الأجرام السماوية .

تميل موازيات ميل الأجرام السماوية الشمالية منها والجنوبية على مستوى دائرة الافق NWS بزاوية مقدارها تمام عرض الراصد (90°- Lat)، وبالتالي لا تكون فترة ظهور الأجرام السماوية فوق الأفق مساوية لفترة إختفائها أسفل الأفق إلا إذا كان ميل الجرم السماوي يساوي صفر كما في حال X_3.

(X, X_1, X_2) فترة ظهورها > فترة إختفائها

(X_4, X_5, X_6) فترة ظهورها < فترة إختفائها



ثالثاً : عند خطوط العرض المعتدلة $66.5^\circ > Lat > 23.5^\circ$

عند خط عرض $66.5^\circ N$ يميل محور دوران الكرة السماوية PP' على دائرة الافق NWS بنفس درجة خط العرض، كما يميل خط الإستواء السماوي QQ' على الخط الواصل بين السمت والنظير ZZ' بنفس درجة خط العرض .

تظهر بعض الأجرام السماوية من الافق الشرقي وتختفي عند الافق الغربي، كما يستطيع الراصد مشاهدة بعض الأجرام السماوية .

تميل موازيات ميل الأجرام السماوية الشمالية منها والجنوبية على مستوى دائرة الافق NWS بزاوية مقدارها تمام عرض الراصد (90°- Lat)، وبالتالي لا تكون فترة ظهور الأجرام السماوية فوق الأفق مساوية لفترة إختفائها أسفل الأفق إلا إذا كان ميل الجرم السماوي يساوي صفر كما في حال X_3.

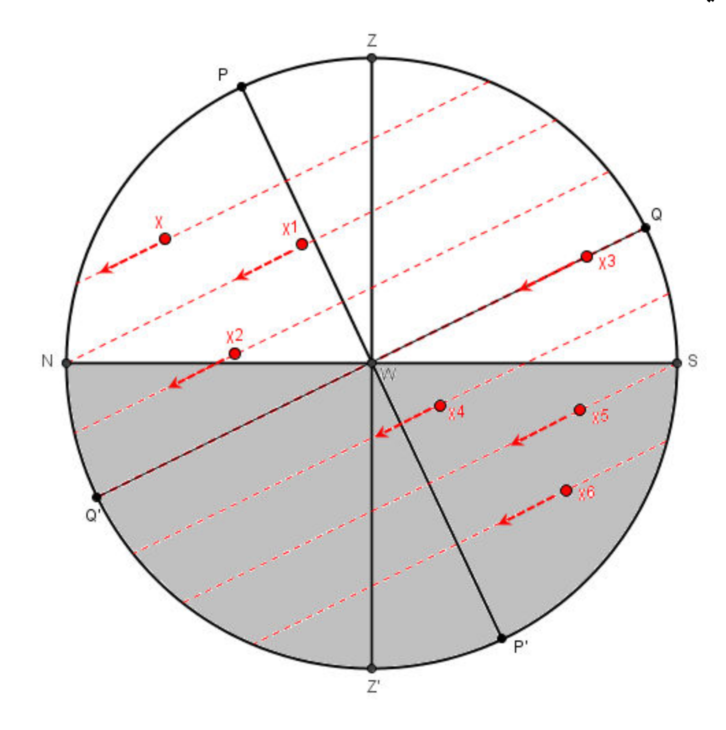
(X_2) فترة ظهوره > فترة إختفائه

(X_4) فترة ظهوره < فترة إختفائه

تلاحظ الأجرام السماوية الأبدية الظهور التي لا تغرب أو الأبدية الإختفاء التي لا تشرق .

(X, X_1) أبدي الظهور (لا يغرب)

(X_5, X_6) أبدي الإختفاء (لا يشرق)



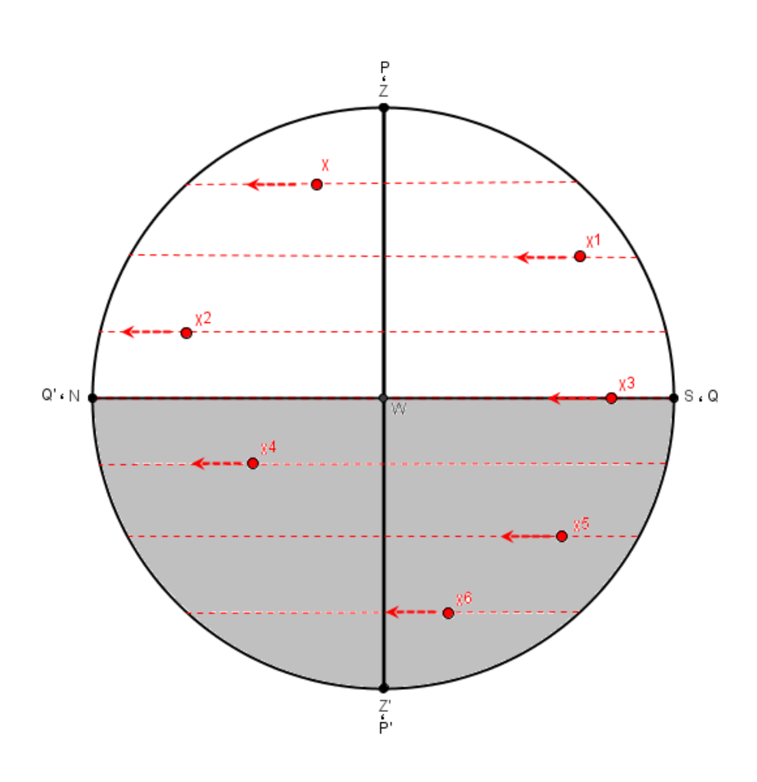
رابعاً : عند خطوط العرض القطبية $Lat > 66.5°$

عند القطب الشمالي ينطبق محور دوران الكرة السماوية PP' على الخط الواصل بين السمت والنظير ZZ'، كما ينطبق خط الإستواء السماوي QQ' على دائرة الافق NWS.

تظهر جميع الأجرام السماوية ذات الميول الشمالية فقط دون الجنوبية.

لا تتقاطع موازيات ميل الأجرام السماوية مع مستوى دائرة الافق NWS، وبالتالي لا تحدث ظاهرة الشروق والغروب، وتكون الأجرام السماوية ذات الميول الشمالية أبدية الظهور، والجنوبية أبدية الإختفاء.

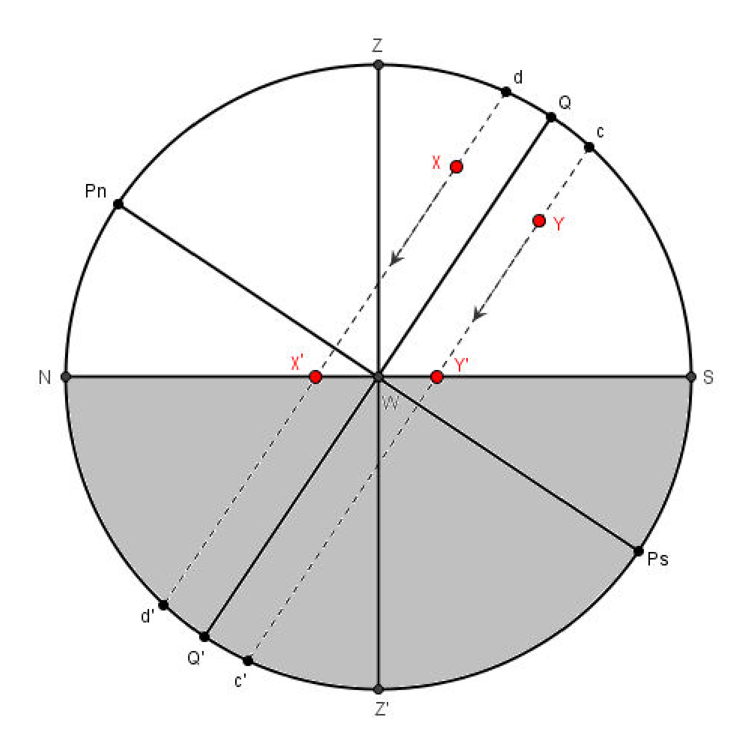
تدور جميع الإجرام السماوية في دوائر متحدة المركز فوق رأس الراصد تماماً Z.



الظواهر المصاحبة للحركة الظاهرية اليومية للأجرام السماوية وشروط تحققها

- **الشروق والغروب**

حتى تتحقق ظاهرة شروق الجرم السماوي وغروبة يجب أن يتقاطع موازي ميله مع دائرة الأفق



في الشكل العلوي يتقاطع موازي ميل كل من الجرم X والجرم Y مع دائرة الأفق في X'، Y'
وحتى يتحقق ذلك لابد من أن يكون ميل الجرم السماوي أصغر من تمام عرض الراصد .

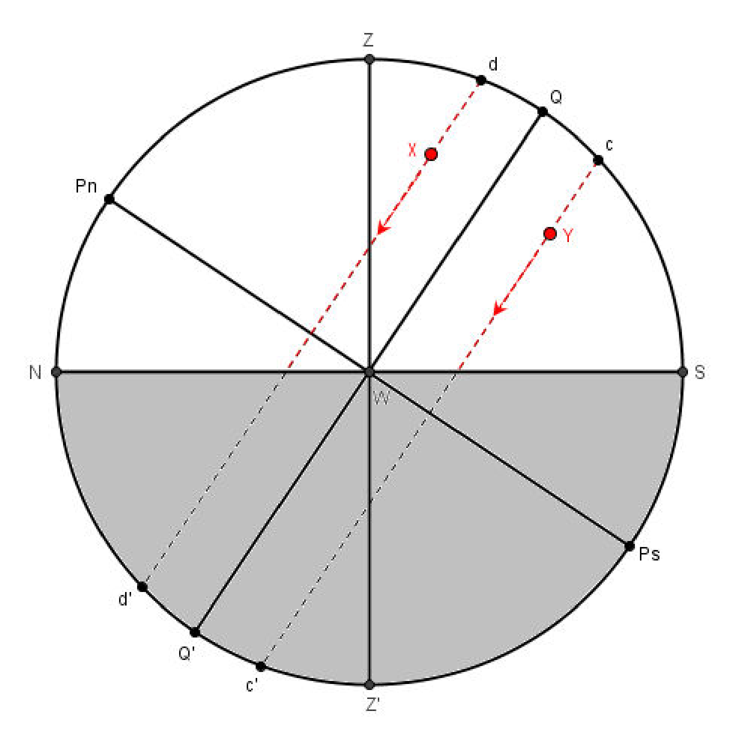
$$Q'd' < Q'N \rightarrow Dec < (90^\circ - Lat)$$

$$Q\,c < QS \rightarrow Dec < (90^\circ - Lat)$$

إذاً الشرط اللازم لحدوث ظاهرة الشروق والغروب لأي جرم سماوي

$$Dec + Lat < 90^\circ$$

- **فترة تواجد الجرم السماوي فوق الأفق أكبر من فترة تواجده أسفل الأفق**



في الشكل العلوي الجرم السماوي X ذو ميل شمالي موافق لإشارة عرض الراصد، بينما الجرم السماوي Y ذو ميل جنوبي مخالف لإشارة عرض الراصد، ويلاحظ أن فترة تواجد الجرم السماوي X فوق الأفق أكبر من فترة تواجده أسفل الأفق، بينما بالنسبة للجرم السماوي Y فإن فترة تواجده فوق الأفق أصغر من فترة تواجده أسفل الأفق.

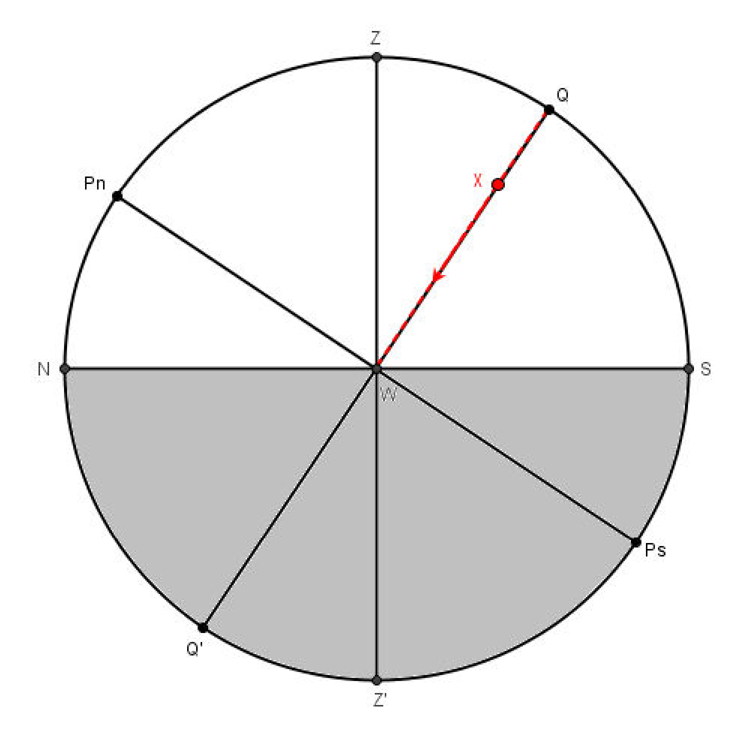
إذاً الشرط اللازم حتى تكون فترة تواجد الجرم السماوي فوق الأفق أكبر من فترة تواجده أسفل الأفق بمعنى أن تكون فترة الشروق أكبر من فترة الغروب

$$Dec + Lat < 90^\circ$$ (العرض بنفس إشارة الميل)

والشرط اللازم حتى تكون فترة تواجد الجرم السماوي فوق الأفق أصغر من فترة تواجده أسفل الأفق بمعنى أن تكون فترة الشروق أصغر من فترة الغروب

$$Dec + Lat < 90^\circ$$ (العرض بخلاف إشارة الميل)

- شروق الجرم السماوي من نقطة الشرق **E** وغروبه عند نقطة الغرب **W**



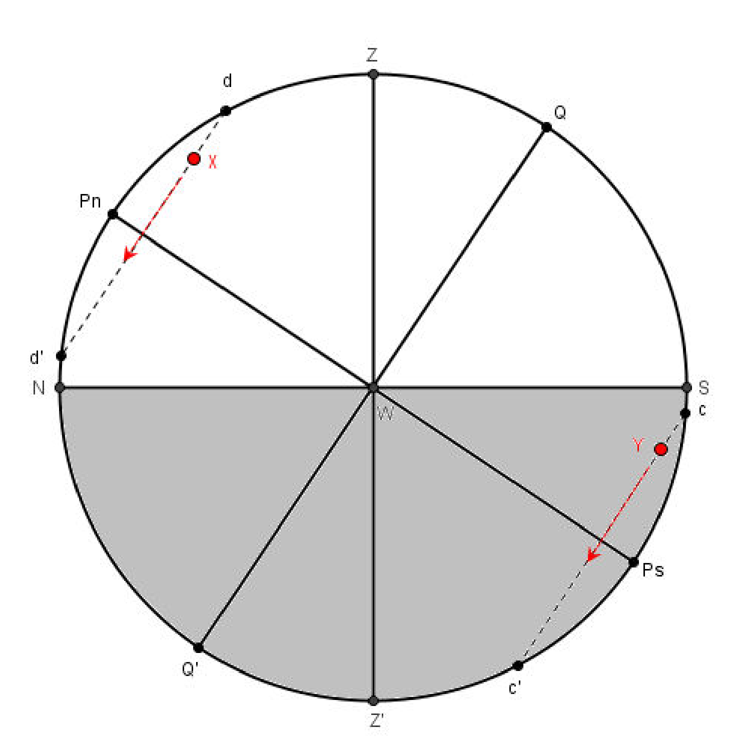
في الشكل العلوي الجرم السماوي X ذو ميل يساوي صفر، فيكون موازي ميله منطبق على خط الإستواء السماوي Q'Q ، ويلاحظ أنه يشرق من نقطة الشرق E ويغرب عند نقطة الغرب W كما يلاحظ أن فترة تواجد الجرم السماوي X فوق الأفق تساوي فترة تواجده أسفل الأفق بمعنى أن فترة شروقه تساوي فترة غروبه .

إذاً الشرط اللازم لشروق الجرم السماوي من نقطة الشرق E وغروبه عند نقطة الغرب W نظرياً

Dec = 0°

- **الجرم السماوي الدوار حول القطب**

حتى يكون الجرم السماوي دوار حول القطب يجب ألا يتقاطع موازي ميله مع دائرة الأفق



في الشكل العلوي لا تتقاطع موازيات ميل كل من الجرمين السماويين X ، Y مع دائرة الأفق ، وبالتالي لا تتحقق ظاهرة الشروق والغروب بالنسبة للجرمين X ، Y ، حيث يقع موازي ميل الجرم السماوي X بأكمله فوق الأفق ، بينما يقع موازي ميل الجرم السماوي Y باكملة أسفل الأفق ، فيبقى كل واحد منهما دواراً حول القطب P ، وتزداد مشاهدة هذه الظاهرة كلما زاد خط عرض الراصد ، فعند خط الإستواء حيث ينعدم العرض لا تشاهد هذه الظاهرة بينما عند القطب تكون كل النجوم دوارة حول القطب ، وحتى يتحقق ذلك لابد من أن يكون ميل الجرم السماوي أكبر أو يساوي تمام عرض الراصد .

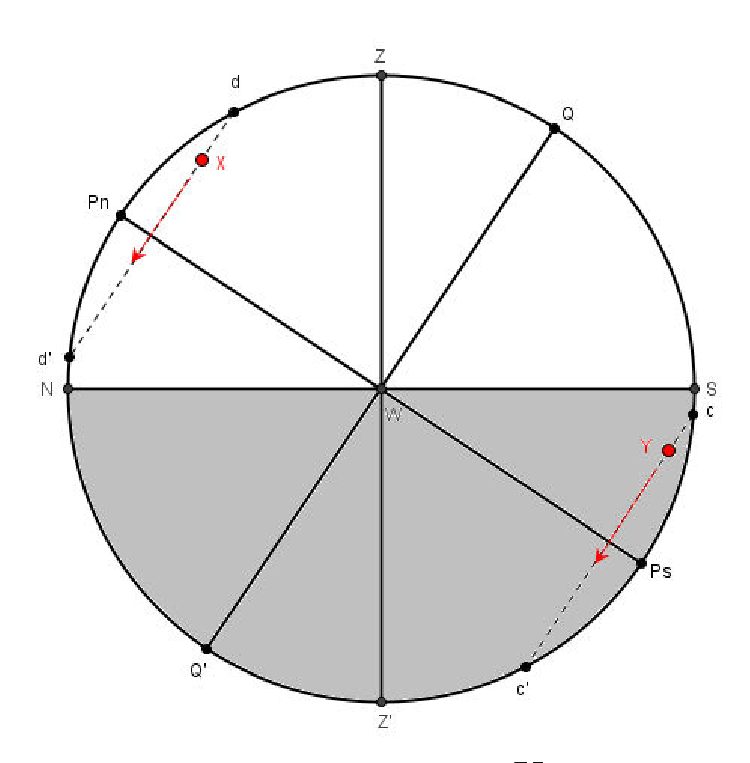
$$Q'd' \geq Q'N \rightarrow Dec \geq (\ 90^{\circ} - Lat\ )$$

$$Q\ c\ \geq QS\ \rightarrow Dec \geq (\ 90^{\circ} - Lat\ )$$

إذاً الشرط اللازم حتى يكون الجرم السماوي دوار حول القطب

$$Dec \geq 90^{\circ} - Lat$$

- **الجرم السماوي الدوار حول القطب فوق الأفق أو أسفله**



في الشكل العلوي الجرم السماوي X ذو ميل شمالي موافق لإشارة عرض الراصد وهو دوار حول القطب فوق الأفق ، بينما الجرم السماوي Y ذو ميل جنوبي مخالف لإشارة عرض الراصد وهو دوار حول القطب أسفل الأفق.

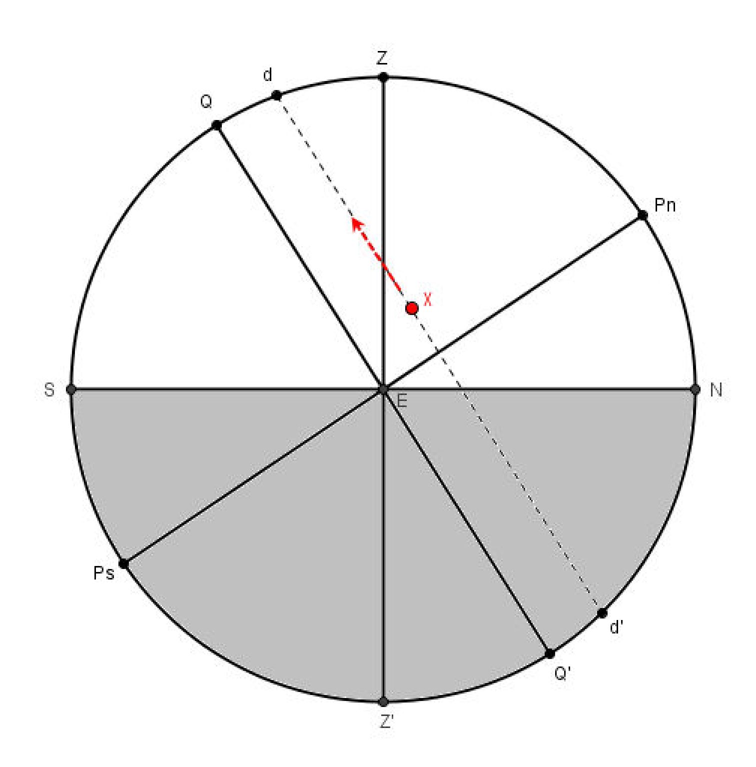
يكون الجرم السماوي دواراً حول القطب فوق الأفق بمعنى أنه لايغرب إطلاقاً

$Dec + Lat \geq 90^\circ$ (العرض بنفس إشارة الميل)

بينما يكون الجرم السماوي دواراً حول القطب أسفل الأفق بمعنى أنه لايشرق إطلاقاً ولا يرى

$Dec + Lat \geq 90^\circ$ (العرض بخلاف إشارة الميل)

- **مرور الجرم السماوي الدائرة الرأسية الاولى**



في الشكل العلوي الجرم السماوي X ذو ميل شمالي موافق لإشارة عرض الراصد لكنه أقل قيمة

$$Qd < QZ \rightarrow Dec < Lat$$

حيث يقطع الجرم السماوي أثناء حركته الدائرة الرأسية الاولى عند جهة الشرق مره ليكون باتجاه الشرق تماماً 90°، وعند جهة الغرب مرة أخرى ليكون باتجاه الغرب تماماً 270°، وفي كلا الموضعين يتشكل مثلث كروي قائم الزاوية عند الزاوية السمتية Az بحيث يمكن حساب كل من إرتفاع الجرم h ، وزاويتة الساعية HA باستخدام المعادلات التالية :

$$Sin(h) = \frac{Sin(Dec)}{Sin(Lat)}$$

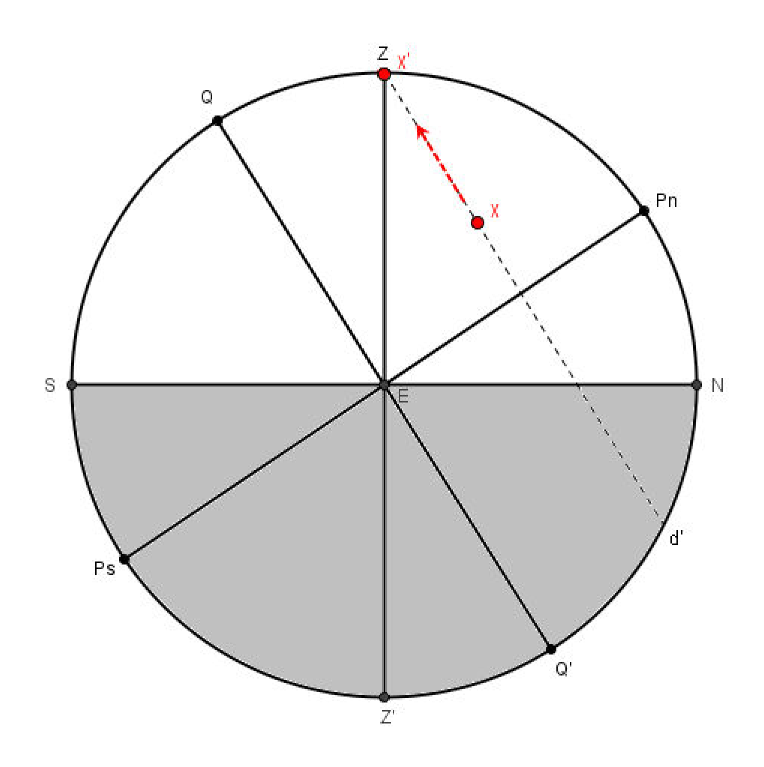
$$Cos(HA) = \frac{Tan(Dec)}{Tan(Lat)}$$

وعند هذه الحالة يمكن رصد الجرم أثناء حركته اليومية الظاهرية عند جميع أرباع دائرة الأفق.

الشرط اللازم لمرور الجرم السماوي الدائرة الرأسية الاولى فوق الأفق

$Dec < Lat$ (العرض بنفس إشارة الميل)

- **مرور الجرم السماوي بنقطة السمت Z أثناء مروره على خط الزوال العلوي للراصد**



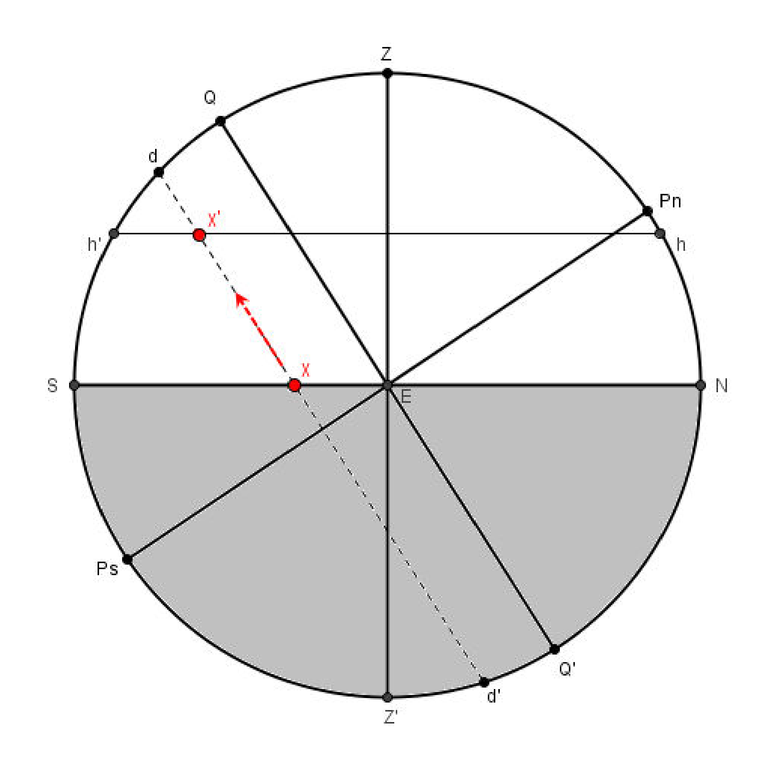
في الشكل العلوي الجرم السماوي X ذو ميل موافق لعرض الراصد إشارة وقيمة

$$Q'd' = QZ \rightarrow Dec = Lat$$

وبذلك يكون الشرط اللازم لمرور الجرم السماوي بنقطة السمت Z

Dec = Lat (العرض بنفس إشارة الميل)

• **بلوغ الجرم السماوي درجة إرتفاع h معينة فوق الأفق**



في الشكل العلوي الجرم السماوي X يرتفع تدريجياً بعد شروقة حتى يبلغ درجة الإرتفاع المطلوبة عند X' وحتى يتحقق ذلك لابد من أن يكون القوس Sd وهو غاية الإرتفاع أكبر من قوس الإرتفاع المطلوب Sh' حيث أن :

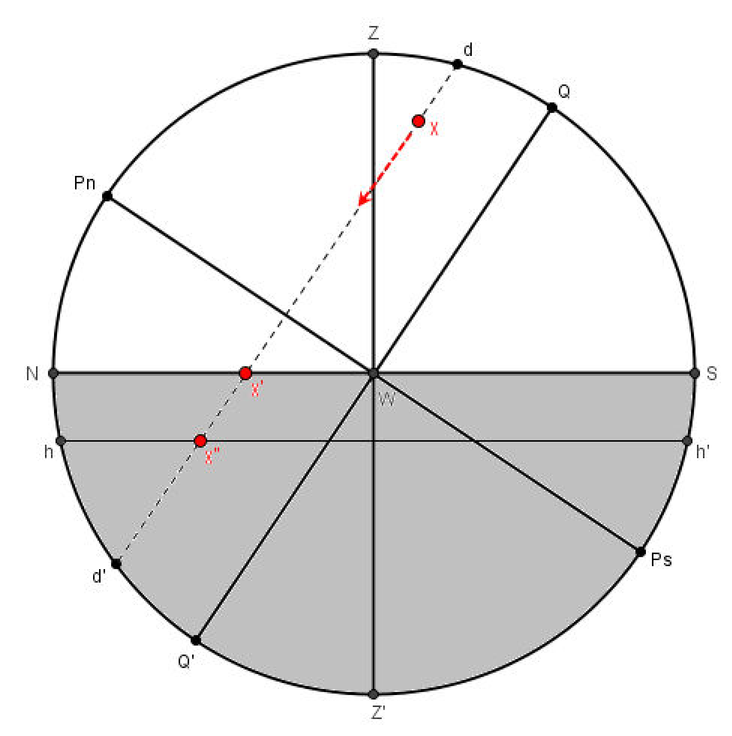
ZQ = Lat
dQ = Dec
Sd = 90 - (Dec + Lat)
،Sh' = h
90 - (Dec + Lat) > h

إذاً الشرط اللازم لبلوغ الجرم السماوي درجة إرتفاع h معينة فوق الأفق

$$(Dec \pm Lat) - 90^\circ > h$$

- العرض والميل بنفس الإشارة
+ العرض والميل بخلاف الإشارة

• بلوغ الجرم السماوي درجة إنخفاض **h** معينة أسفل الأفق



في الشكل العلوي الجرم السماوي X ينخفض تدريجياً باتجاه الأفق الغربي حتى يغرب عند 'X ثم يستمر في إنخفاضة حتى يبلغ درجة الإنخفاض المطلوبة عند "X وحتى يتحقق ذلك لابد من أن يكون القوس 'Nd وهو أدنى إنحطاط للجرم السماوي أسفل الأفق أكبر من قوس الإنحطاط المطلوب Nh حيث أن :

Z'Q' = Lat

d'Q' = Dec

Nd' = 90 - (Dec + Lat)

Nh = h ،

90 - (Dec + Lat) > h

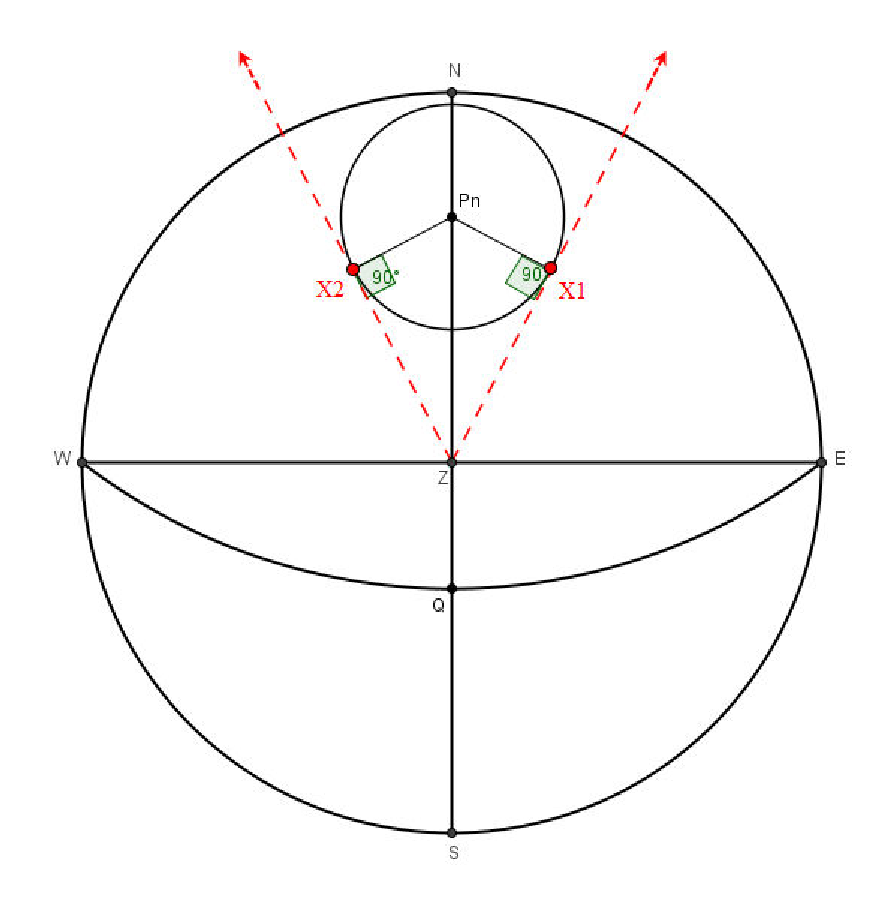
إذاً الشرط اللازم لبلوغ الجرم السماوي درجة إنخفاض h معينة أسفل الأفق

$$(Dec \pm Lat) - 90^\circ > h$$

+ العرض والميل بنفس الإشارة

- العرض والميل بخلاف الإشارة

- **بلوغ الجرم السماوي أقصى زاوية سمتية Az**



في الشكل العلوي يبلغ الجرم السماوي أقصى زاوية سمتية شرقية له عند X_1، ثم يعود ليبلغ أقصى زاوية سمتية غربية عند X_2 بعد عبوره خط زوال الراصد، وحتى يتحقق ذلك لابد من أن يكون ميل الجرم السماوي أكبر من عرض الراصد وبنفس الإشارة، فمتى ما تحقق ذلك بلغ الجرم السماوي زاوية سمتية قصوى لا يتجاوزها، ويمكن تحديدها باستخدام المعادلة التالية :

$$Sin(Az) = \frac{Cos(Dec)}{Cos(Lat)}$$

كما يمكن تحديد قيمة كل من إرتفاع الجرم h، وزاويته الساعية HA باستخدام المعادلة التالية :

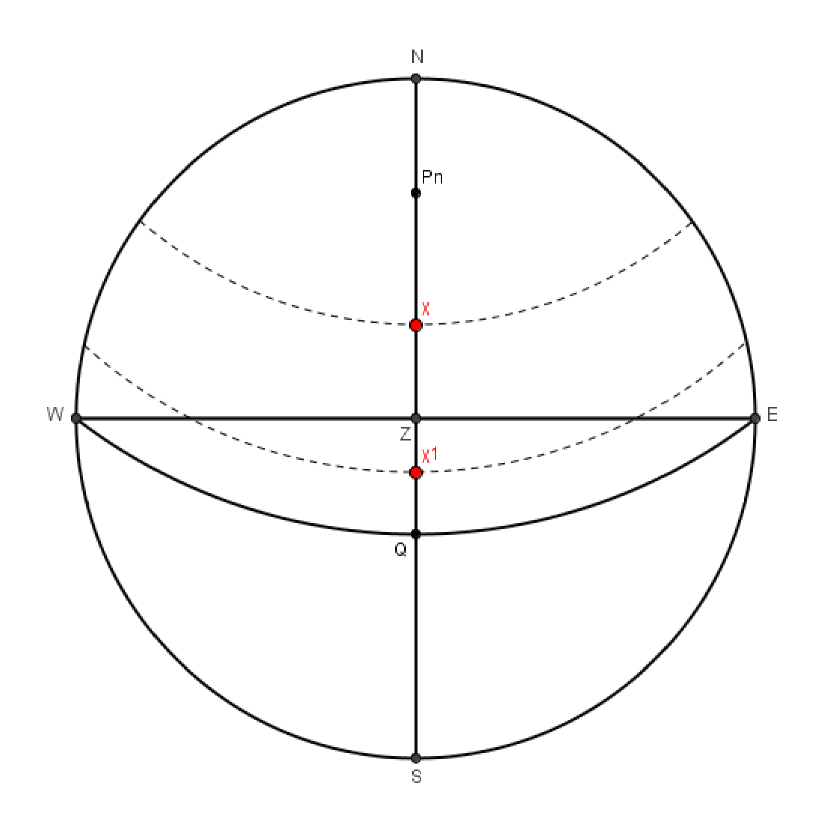
$$Sin(h) = \frac{Sin(Lat)}{Sin(Dec)}$$

$$Cos(HA) = \frac{Tan(Lat)}{Tan(Dec)}$$

إذاً الشرط اللازم لبلوغ الجرم السماوي أقصى زاوية سمتية Az

Dec > Lat (العرض بنفس إشارة الميل)

- **العبور الزوالي للجرم السماوي**



تعبر الأجرام السماوية خلال حركتها اليومية خط زوال الراصد مرتين، حيث أنها تعبر خط زوال الراصد العلوي مرة حينما تكون في أقصى قيمة إرتفاع لها، ومرة أخرى تعبر خط زوال الراصد السفلي وعندها تكون في أدنى قيمة إرتفاع لها .

ولحساب الإرتفاع الزوالي H للجرم السماوي لحظة عبورة خط زوال الراصد فإننا نستخدم العلاقة الرياضية التالية :

$$H = (Dec \pm Lat) - 90^{\circ}$$

- العرض والميل بنفس الإشارة

+ العرض والميل بخلاف الإشارة

وتعكس الإشارات في حال حساب الإرتفاع الزوالي السفلي H' .

العبور الزوالي العلوي لخط زوال الراصد قد يحدث شمال أو جنوب نقطة سمت الراصد Z، ومن الممكن كذلك أن يحدث تماماً عندها، ويعتمد ذلك على قيمة كل من ميل الجرم السماوي وخط عرض الراصد بالشكل التالي :

- حدوث العبور الزوالي شمال نقطة السمت Dec > Lat
- حدوث العبور الزوالي جنوب نقطة السمت Dec < Lat
- حدوث العبور الزوالي عند نقطة السمت Dec = Lat

عند لحظة عبور الجرم السماوي لخط زوال الراصد العلوي تنعدم قيمة زاويته الساعية المحلية LHA، وبالتالي يتساوى مطلعه المستقيم RA مع الزمن النجمي المحلي LST، فإن أردت تعيين قيمة المطلع المستقيم لأي جرم سماوي ما عليك سوى حساب الزمن النجمي المحلي لوقت عبور ذلك الجرم فما يتحصل يكون هو قيمة مطلعه المستقيم .

مثال: إذا علمت أن قيمة الميل Dec للنجوم التالية هي :

Aldebaran	16° 32′ 14″	N
Alkaid	49° 14′ 29″	N
Altair	08° 54′ 27″	N
Rigel	08° 11′ 09″	S
Spica	11° 14′ 12″	S

- عند أي خط عرض لا يغرب النجم Alkaid مطلقاً .

Dec + Lat ≥ 90˚ & same name

Lat ≥ (90˚ – 49° 14′ 29″) N

Lat ≥ 40° 45′ 31″ N

إذاً النجم Alkaid لايغرب مطلقاً عند خط عرض N ″31 ′45 °40 فأكثر شمالاً حيث يكون دوار حول القطب فوق الأفق.

- بالنسبة لراصد ذو خط عرض N ˚30 بين أي من النجمين Aldebaran و Rigel يحقق ظاهرة الشروق والغروب وأيهما يشرق لفتره أكبر من غروبه .

حتى يحقق الجرم السماوي ظاهرة الشروق والغروب لابد من أن يكون (Dec + Lat < 90) وهذا الشرط يتحقق بالنسبة للنجمين Aldebaran و Rigel حيث أن :

Star Name	**Dec + Lat**	
Aldebaran	16° 32′ 14″ + 30°	< 90°
Rigel	08° 11′ 09″+ 30°	< 90°

وحتى تكون فترة شروقه أكبر من فترة غروبه لابد من أن يكون ميل الجرم السماوي بنفس إشارة عرض الراصد (Lat same name as Dec) وهذا يتحقق للنجم Aldebaran حيث أن ميله موافق لإشارة عرض الراصد .

- وضح أي من النجوم السابقة يمر بنقطة السمت Z خلال حركته الظاهرية بالنسبة لراصد ذو خط عرض N ″27 ′54 °08 .

Dec = Lat & <u>same name</u>

النجم Altair ذو ميل موافق لعرض الراصد إشارة وقيمة فيكون هو النجم المطلوب .

- بيّن هل يمكن لراصد ذو عرض 29°N من رؤية النجمين Alkaid و Spica معاً.

لمعرفة ذلك يجب إيجاد أقل خط عرض يمكن عنده رؤية كل نجم وذلك من خلال العلاقة :

Dec + Lat < 90° & <u>contrary name</u>

بالنسبة للنجم Alkaid تكون رؤيته ممكنه عند جميع خطوط العرض الشمالية بالإضافة إلى خطوط العرض الجنوبية حتى عرض S ″31 ′45 °40 فأقل باتجاه الإستواء .

Lat < (90° - 49° 14′ 29″) S

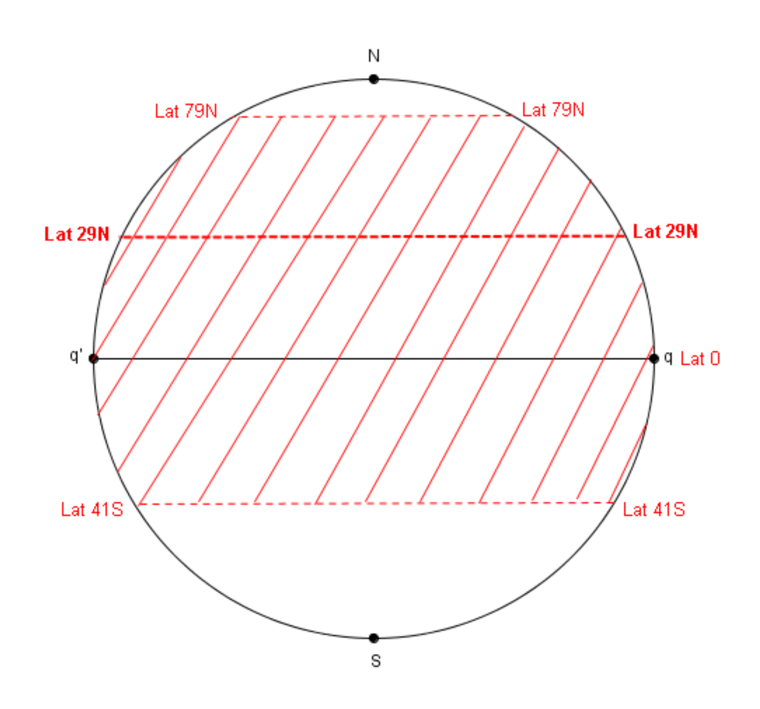
Lat < 40° 45′ 31″ S or any North Lat.

وبالنسبة للنجم Spica تكون رؤيته ممكنه عند جميع خطوط العرض الجنوبية بالإضافة إلى خطوط العرض الشمالية حتى عرض N ″48 ′45 °78 فأقل باتجاه الإستواء .

Lat < (90° –11° 14′ 12″) N

Lat < 78° 45′ 48″ N or any South Lat.

إذاً يمكن رؤية النجمين Alkaid و Spica معاً بين خطي عرض N ″48 ′45 °78 S ″31 ′45 °40 ، وبالتالي يمكن للراصد ذو خط عرض N °29 من رؤية النجمين معاً .



$$78° \; 45' \; 48'' \; N \; > \; Lat \; < \; 40° \; 45' \; 31'' \; S$$

- عند أي خط عرض يكون النجم Spica فوق الأفق إلى الأبد وعند أي خط عرض يكون أسفله إلى الأبد .

$Dec + Lat \geq 90°$ & <u>same name</u>

$Lat \geq (90° - 11° \; 14' \; 12'') \; S$

$Lat \geq 78° \; 45' \; 48'' \; S$

إذاً النجم Spica يكون فوق الأفق إلى الابد عند خط عرض $78° \; 45' \; 48'' \; S$ فأكثر باتجاه القطب الجنوبي .

$Dec + Lat \geq 90°$ & <u>contrary name</u>

$Lat \geq (90° - 11° \; 14' \; 12'') \; N$

$Lat \geq 78° \; 45' \; 48'' \; N$

إذاً النجم Spica يكون أسفل الأفق إلى الابد عند خط عرض $78° \; 45' \; 48'' \; N$ فأكثر باتجاه القطب الشمالي .

- بيّن أي من النجوم السابقة يحقق شرط مرور الدائرة الرأسية الاولى بالنسبة لراصد ذو خط عرض $29^\circ N$.

Dec < Lat & <u>same name</u>

إذاً النجم Aldebaran والنجم Altair يحققان شرط المرور، وهو أن يكون الميل أصغر من العرض وبنفس الإشارة .

- ماهي أقل درجة ميل لجرم سماوي يتحقق معها شرط الظهور الأبدي بالنسبة لراصد ذو خط عرض 22° N .

$Dec + Lat \geq 90^\circ$ & <u>same name</u>

$Dec \geq (90^\circ - 22^\circ)$ N

$Dec \geq 68^\circ$ N

إذاً كل الأجرام السماوية ذات ميل $68^\circ N$ فأكثر شمالاً دائمة الظهور لراصد ذو عرض $22^\circ N$

- ماهي إمكانية بلوغ النجم Aldebaran إنخفاض 47° أسفل الأفق بالنسبة لراصد ذو خط عرض 32° N .

$(Dec \pm Lat) - 90^\circ > h$

$(16^\circ\ 32'\ 14'' + 32^\circ) - 90^\circ > h$

$16^\circ\ 32'\ 14'' - 90^\circ > h$

$41^\circ\ 27'\ 46'' > h$

إذاً النجم Aldebaran لا يمكنه بلوغ إنخفاض 47° أسفل الأفق حيث أن أقصى درجة إنخفاض يمكنه بلوغها أسفل الأفق هي $41^\circ\ 27'\ 46''$ بالنسبة لخط عرض الراصد .

- ماهي إمكانية بلوغ النجم Alkaid إرتفاع °65 فوق الأفق بالنسبة لراصد ذو خط عرض 29° N .

$(Dec \pm Lat) - 90^\circ > h$

$(49^\circ\ 14'\ 29'' - 29^\circ) - 90^\circ > h$

$20^\circ\ 14'\ 29'' - 90^\circ > h$

$69^\circ\ 45'\ 31'' > h$

إذاً النجم Alkaid يمكنه بلوغ إرتفاع °65 فوق الأفق حيث أن أقصى درجة إرتفاع يمكنه بلوغها فوق الأفق هي ″31 ′45 °69 بالنسبة لخط عرض الراصد .

- بالنسبة لراصد ذو خط عرض 29° 15′ N ماهي غاية إرتفاع النجم Rigel ،وفي أي جهة سيكون عبوره بالنسبة لنقطة سمت الراصد Z .

$H = (Dec \pm Lat) - 90^\circ$

$H = (08^\circ\ 11'\ 09'' + 29^\circ\ 15') - 90^\circ$

$H = 37^\circ\ 26'\ 09'' - 90^\circ$

$H = 52^\circ\ 33'\ 51''$

وبما أن ميل النجم أصغر من عرض الراصد فسيكون النجم جنوب نقطة السمت Z لحظة عبوره الزوالي حيث تكون زاوية السمتية لحظة زواله تساوي °180.

- ماهو مقدار الإرتفاع الزوالي H للنجم Alkaid لحظة عبورة خط الزوال العلوي لراصد على خط عرض 47° 36′ N .

$H = (Dec \pm Lat) - 90^\circ$

$H = (49^\circ\ 14'\ 29'' - 47^\circ\ 36') - 90^\circ$

$H = 01^\circ\ 38'\ 29'' - 90^\circ$

$H = 88^\circ\ 21'\ 31''$

- أوجد أقصى زاوية سمتية Az شرقية يبلغها النجم Alkaid بالنسبة لراصد على خط عرض $14^\circ\ 25'$ N ثم أوجد درجة إرتفاعه h عند تلك اللحظة .

$$Sin(Az) = \frac{Cos(Dec)}{Cos(Lat)}$$

$$Sin(Az) = \frac{Cos(49^\circ\ 14'\ \ 29'')}{Cos(14^\circ\ 25'\ \ 00'')}$$

$$Sin(Az) = 0.674101$$

$$Az = 42^\circ\ \ 23'$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(Lat)}{Sin(Dec)}$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(14^\circ\ 25'\ \ 00'')}{Sin(49^\circ\ 14'\ \ 29'')}$$

$$Sin(h) = 0.328690$$

$$h = 19^\circ\ \ 11.4'$$

الفصل السادس

التوقيت وحساب الزمن

حركة الأرض

للأرض حركتين رئيسيتين، فالأولى تعرف بإسم الحركة المحورية حيث تدور الكرة الأرضية حول محورها الذي يميل بمقدار $23.5°$ تقريباً عن المستوى الرأسي مرة كل يوم، ونتيجة لدوران الأرض حول محورها من الشرق إلى الغرب تحدث ظاهرة الشروق والغروب، وتعاقب الليل والنهار.

أما الحركة الثانية فهي حركة دوران الأرض حول الشمس وتعرف بالحركة المدارية، وقد وصف العالم الفلكي جوهانز كبلر (1571 - 1630) ذلك من خلال قانونه الأول :

- تدور الكواكب حول الشمس في مدار إهليلجي (قطع ناقص) تقع الشمس في إحدى بؤرتيه.

ولما كان مدار الأرض حول الشمس على هيئة قطع ناقص وليس بدائرة، كان بالضرورة أن يكون لهذا المدار نقطة قريبة من الشمس تعرف بنقطة الحضيض، وأخرى بعيدة عنها تعرف بالأوج ،وتتواجد الأرض في نقطة الحضيض في حوالي 3 يناير، بينما تتواجد في نقطة الأوج في حوالي 5 يوليو، وبحسب القانون الثاني لكبلر :

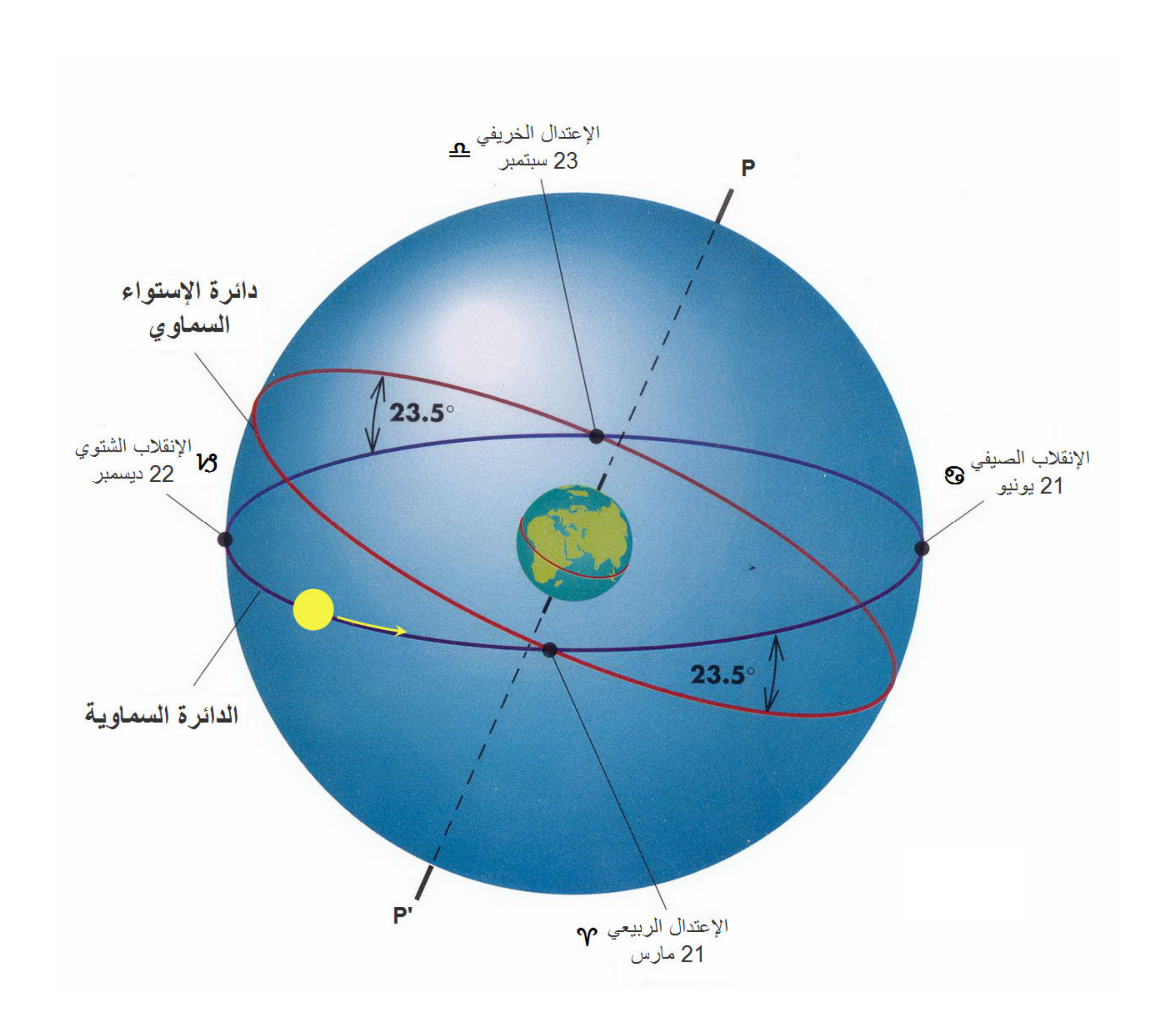
- يمسح الخط الواصل بين الشمس والكوكب مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

ما يعني أن سرعة حركة دوران الأرض في مدارها حول الشمس غير منتظمة، حيث تصل أقصى سرعة لها عندما تكون في الحضيض بينما تكون في أدنى سرعة لها عندما تكون في الأوج، وتتم الأرض دورة كاملة $360°$ حول الشمس، إبتداءً من نقطة الإعتدال الربيعي γ باتجاه الشرق في حوالي 365.2422 يوم، بمعدل $0.985647°$ تقريباً في اليوم الواحد .

وبالرغم من حقيقة دوران الأرض حول الشمس، فإن هذه الأخيرة تبدو لنا نحن سكان الأرض وكأنها هي التي تتحرك وتدور على سطح الكرة السماوية، وتتنقل في السماء على مدار السنة عبر خلفية من النجوم الثابته، وهذه الحركة المشاهدة من على سطح الأرض تسمى الحركة الظاهرية للشمس، فهي تتحرك ظاهرياً على دائرة تسمى الدائرة السماوية أو الكسوفية التي تميل بزاوية $23.5°$ درجة تقريباً عن مستوى دائرة الإستواء السماوي، ويسمى هذا الميل بالميل الكلي الذي يتسبب بحدوث ظاهرة الفصول الأربعة نتيجة تغير زاوية سقوط أشعة الشمس على سطح الأرض أثناء حركتها المدارية .

وتعبر الشمس دائرة خط الإستواء السماوي لتقطعه عند موضعين متقابلين، أحدهما أثناء مسيرها من الجنوب إلى الشمال، ويطلق عليه نقطة الإعتدال الربيعي الذي هو رأس برج الحمل γ ،والاخر أثناء مسيرها من الشمال إلى الجنوب المسمى بنقطة الإعتدال الخريفي.

وينعدم ميل الشمس حينما تكون عند أحد هذين الإعتدالين، بينما تتباعد عن مستوى دائرة الإستواء السماوي عند أقصى بعد في موضعين آخرين، هما الإنقلاب الصيفي والإنقلاب الشتوي، حيث يبلغ الميل أقصى قيمة له .



موقع الشمس	التاريخ الإصطلاحي	ميل الشمس Dec	المطلع المستقيم RA	الزاوية الساعية النجمية SHA
الإعتدال الربيعي	20 مارس	00° 00′	$00^h\ 00^m$	360°
الإنقلاب الصيفي	21 يونيو	23° 26.4′ N	$06^h\ 00^m$	270°
الإعتدال الخريفي	22 سبتمبر	00° 00′	$12^h\ 00^m$	180°
الإنقلاب الشتوي	21 ديسمبر	23° 26.4′ S	$18^h\ 00^m$	90°

وحدة قياس الزمن

عند البحث عن وحدة قياس ظاهرة طبيعية معينة يمكن إستخدامها كوحدة قياس للزمن، لابد من أن تلبي هذه الوحدة مطلبين أساسيين هما :

- يجب أن تكون ثابتة القيمة .
- يجب أن تتوافق مع شئون حياة الإنسان المعيشية.

وقد إتجه التفكير في إيجاد فترة دوران الكرة الأرضية حول محورها من أجل إستخدامها كوحدة لقياس الزمن، حيث يطلق على الفترة الزمنية التي تتم فيها الكرة الأرضية دورة كاملة حول محورها مصطلح اليوم ،ويعتمد إسم هذا اليوم على الجرم السماوي المستخدم في حساب فترة الدوران هذه ،وعلى ذلك فإننا سنتعرف على ثلاثة أيام مختلفة .

اليوم الشمسي الظاهري : الفترة الزمنية بين عبورين متتاليين للشمس الحقيقية على خط زوال معين ،وهي غير ثابتة القيمة لكنها تتوافق مع شئون حياة الإنسان المعيشية.

اليوم القمري : الفترة الزمنية بين عبورين متتاليين للقمر على خط زوال معين ،وهي غير ثابتة القيمة كما أنها لا تتوافق مع شئون حياة الإنسان المعيشية .

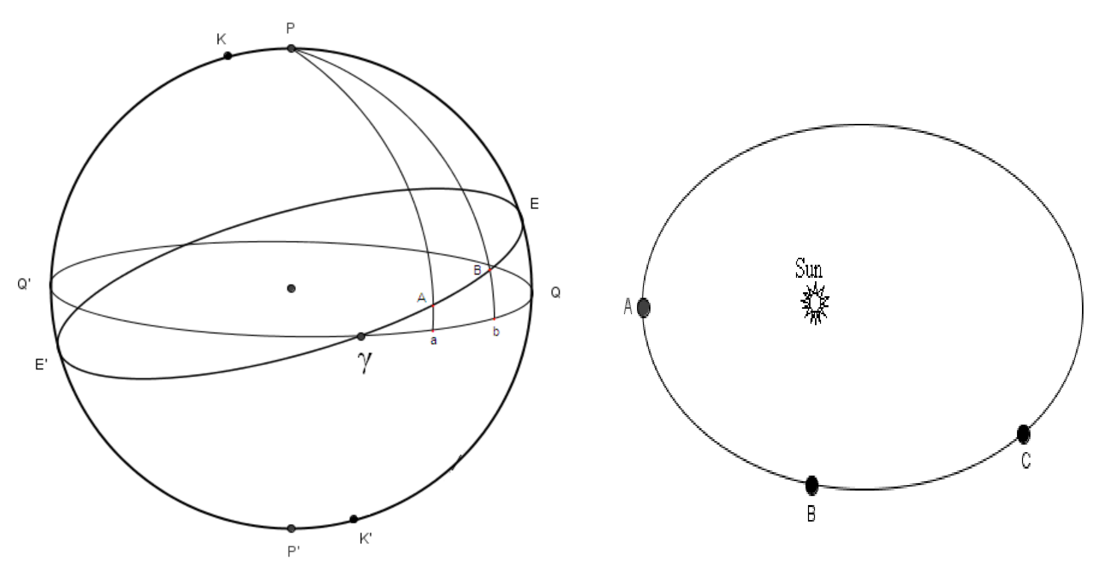
اليوم النجمي : الفترة الزمنية بين عبورين متتاليين لنقطة الإعتدال الربيعي على خط زوال معين ،وهي ثابتة القيمة لكنها لا تتوافق مع شئون حياة الإنسان المعيشية.

الوحدة	ثبات القيمة	التوافق مع شئون الحياة
اليوم الشمسي الظاهري	غير ثابت	متوافق
اليوم القمري	غير ثابت	غير متوافق
اليوم النجمي	ثابت	غير متوافق

بالعودة ثانية إلى حركة الشمس الحقيقية، التي تعتبر من أظهر وأجل الحركات الحسية بالنسبة إلى الإنسان، وفي محاولة إيجاد نظام مثالي لقياس الزمن من هذه الحركة، نجد أنفسنا أمام عقبتين هما :

1. دوران الكرة الأرضية حول الشمس في قطع ناقص وليس في مدار دائري، وبحسب القانون الثاني لكبلر لن تكون سرعة الدوران منتظمة، ونخلص إلى أن الشمس الحقيقية تتحرك ظاهرياً على مستوى الدائرة السماوية بسرعة غير منتظمة .

2. تتحرك الشمس الحقيقية ظاهرياً على مستوى الدائرة السماوية، بينما تدور الكرة الأرضية حول محورها على مستوى خط الإستواء السماوي، والذي يميل بزاوية $23.5°$ تقريباً عن مستوى الدائرة السماوية، بمعنى أنه لو إفترضنا مجازاً إنتظام حركة الشمس الحقيقية الظاهرية على مستوى الدائرة السماوية، فإن مسقط هذه الحركة على مستوى خط الإستواء السماوي لن يكون منتظماً .



بفرض إنتظام حركة الشمس الحقيقية يبقى $ab \neq AB$

سرعة الكوكب عند A > عند B > عند C

بناءً على ما سبق يتضح أن ما يحول دون إتخاذ حركة الشمس الحقيقة كوحدة لقياس الزمن ، هو حركتها الظاهرية على مستوى الدائرة السماوية ، بالإضافة إلى ميلان هذا المستوى عن مستوى خط الإستواء السماوي ، وقد تمت معالجة هذه الإشكالية في خطوتين .

أولاً : نفرض شمس تخيلية تتحرك على مستوى الدائرة السماوية بسرعة منتظمة تساوي متوسط سرعة الشمس الحقيقية ، وبذلك نلاشي تأثير المدار الإهليلجي (الإختلاف المركزي) على إنتظام سرعة الشمس.

ثانياً : نفترض أن هذه الشمس التخيلية ، تتحرك على مستوى خط الإستواء السماوي بنفس السرعة المتوسطة ، ونطلق عليها إسم الشمس المتوسطة ، وبذلك نلاشي تأثير ميلان مستوى الدائرة السماوي عن مستوى خط الإستواء السماوي.

إسم الجرم	المدار	السرعة
الشمس الحقيقية ☉	الدائرة السماوية	غير منتظمة
الشمس المتوسطة ⊕	دائرة الإستواء السماوي	منتظمة

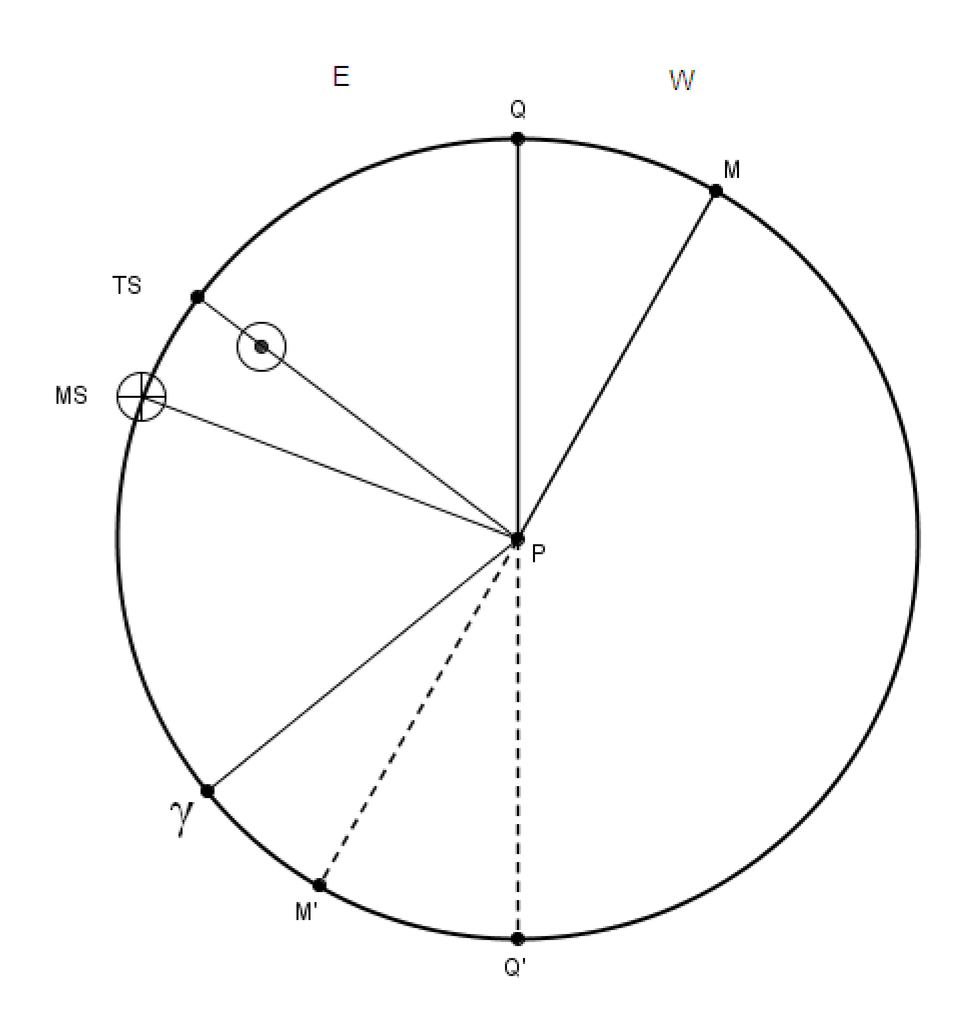
وبذلك أصبح لدينا شمساً تخيلية تتحرك على مستوى خط الإستواء السماوي وبسرعة منتظمة تعادل $15°$ / ساعة متوسطة ، نصطلح منها يوماً جديداً وهو اليوم الشمسي المتوسط 24^h ساعة.

$$\frac{360°}{24} = 15° / \text{hour}$$

اليوم الشمسي المتوسط : الفترة الزمنية بين عبورين متتاليين للشمس المتوسطة على خط زوال معين ، وهي فترة ثابتة القيمة حيث تساوي 24 ساعة متوسطة ، كما أنها تتوافق مع شئون حياة الإنسان المعيشية ، وقد تم إعتبارها الوحدة الأساسية في قياس الوقت الشمسي المتوسط ، ويبدأ اليوم الشمسي المتوسط عند لحظة المرور الزوالي السفلي للشمس المتوسطة .

$$1^{\text{mean day}} = 24^{\text{m.hours}} = 1440^{\text{m.minutes}} = 86400^{\text{m.seconds}}$$

بالنظر إلى الكرة السماوية من الأعلى باتجاه القطب، سيكون المنظور كما في الشكل التالي :

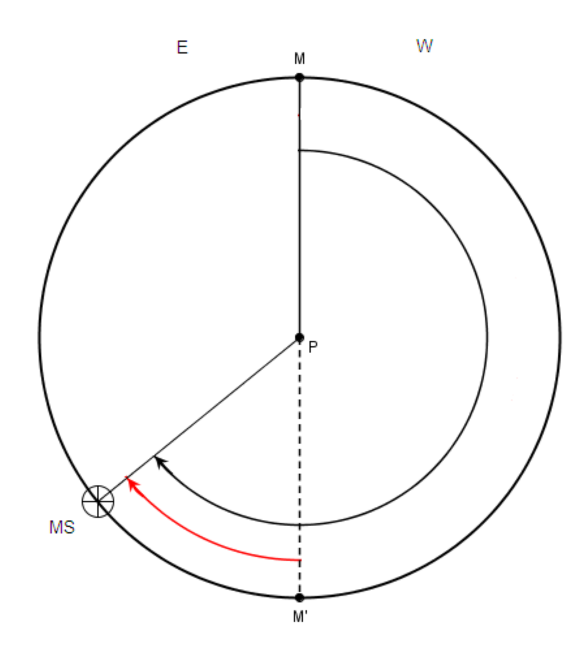


- True Sun الشمس الحقيقية (TS) ، Mean Sun الشمس المتوسطة (MS)
- γ نقطة الإعتدال الربيعي
- P نقطة القطب وتمثل هنا مركز دائرة خط الإستواء السماوي.
- PQ خط زوال غرينتش العلوي ، 'PQ خط زوال غرينتش السفلي .
- PM خط زوال الراصد العلوي ، 'PM خط زوال الراصد السفلي .
- PTS خط الزوال المار بالشمس الحقيقية .
- PMS خط الزوال المار بالشمس المتوسطة .
- Pγ خط الزوال المار بنقطة الإعتدال الربيعي .
- القوس الواصل بين TS و MS يمثل معادلة الوقت .

الوقت المحلي المتوسط

Local Mean Time (LMT)

طول القوس على خط الإستواء السماوي أو الزاوية المقاسة عند القطب P إبتداءً من خط الزوال السفلي للراصد 'PM وحتى خط الزوال المار بالشمس المتوسطة PMS باتجاه الغرب ، ويعبر عنها بوحدات زمنية 0 – 24 ساعة أي تلك الفترة التي مرت منذ لحظة المرور الزوالي السفلي للشمس المتوسطة وهي، تساوي الزاوية الساعية المحلية للشمس المتوسطة ± 12 .

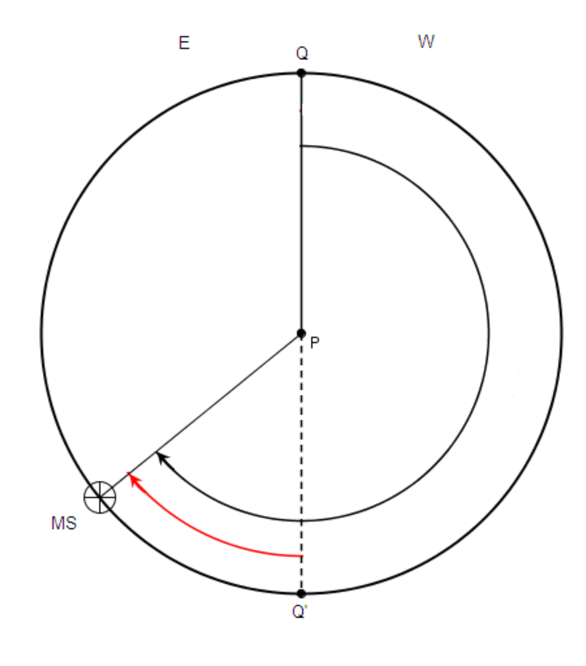


LMT = LHA⊕ ± 12

وقت غرينيتش المتوسط

Greenwich Mean Time (GMT)

طول القوس على خط الإستواء السماوي أو الزاوية المقاسة عند القطب P إبتداءً من خط الزوال السفلي لغرينتش 'PQ وحتى خط الزوال المار بالشمس المتوسطة PMS باتجاه الغرب ، ويعبر عنها بوحدات زمنية من 0 – 24 ساعة أي تلك الفترة التي مرت منذ لحظة المرور الزوالي السفلي للشمس المتوسطة وهي، تساوي الزاوية الساعية لغرينتش للشمس المتوسطة ± 12 .



GMT = GHA⊕ ± 12

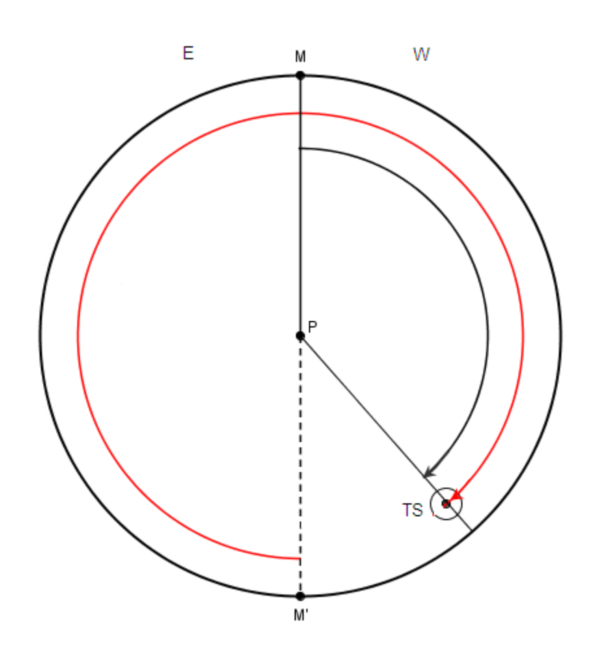
العلاقة بين الوقت المحلي المتوسط LMT ووقت غرينيتش المتوسط GMT

LMT = GMT ± Long

+ للطول الشرقي ، – للطول الغربي

الوقت المحلي الظاهري

Local Apparent Time (LAT)

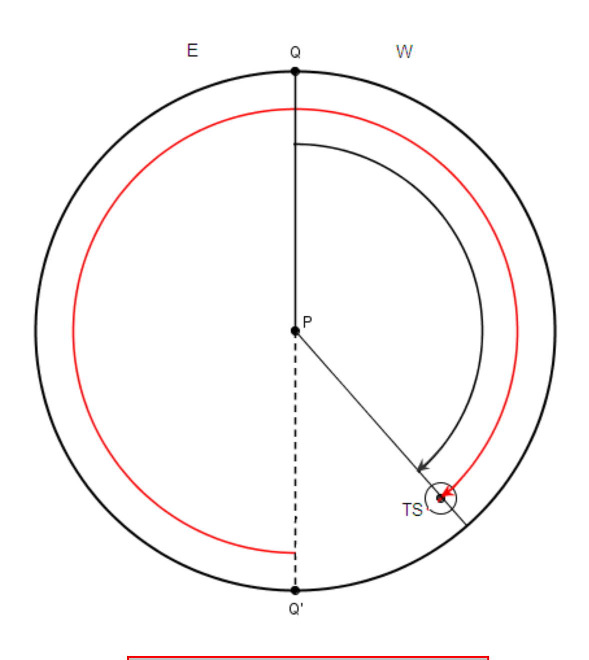


الزاوية المقاسة عند القطب P إبتداءً من خط الزوال السفلي للراصد 'PM وحتى خط الزوال المار بالشمس الحقيقية PTS باتجاه الغرب ، ويعبر عنها بوحدات زمنية من 0 – 24 ساعة أي تلك الفترة التي مرت منذ لحظة المرور الزوالي السفلي للشمس الحقيقية ، وهي تساوي الزاوية الساعية المحلية للشمس الحقيقية ± 12 ، وعند لحظة المرور الزوالي العلوي للشمس الحقيقية فإن الوقت المحلي الظاهري يساوي $12^h\ 00^m$ دائماً ، وهو وقت المزولة.

LAT = LHA☉ ± 12

وقت غرينيتش الظاهري

Greenwich Apparent Time (GAT)



الزاوية المقاسة عند القطب P إبتداءً من خط الزوال السفلي لغرينتش 'PQ وحتى خط الزوال المار بالشمس الحقيقية PTS باتجاه الغرب ، ويعبر عنها بوحدات زمنية من 0 – 24 ساعة أي تلك الفترة التي مرت منذ لحظة المرور الزوالي السفلي للشمس الحقيقية ، وهي تساوي الزاوية الساعية لغرينتش للشمس الحقيقية ± 12.

GAT = GHA☉ ± 12

العلاقة بين الوقت المحلي الظاهري LAT ووقت غرينتش الظاهري GAT

LAT = GAT ± Long

معادلة الوقت

Equation of Time (Eq.T)

ترتبط الشمس المتوسطة بحركتها مع الشمس الحقيقية بعلاقة تسمى معادلة الوقت ، والتي تعرف على أنها طول القوس على خط الإستواء السماوي أو الزاوية عند القطب P المحصورة بين دائرتي زوال كل من الشمس المتوسطة والشمس الحقيقية ، فمعادلة الوقت عبارة عن الفرق بين الوقت الظاهري الذي تشير له المزولة الشمسية والوقت المتوسط الذي تشير إليه تلك الساعة التي نحملها في أيدينا.

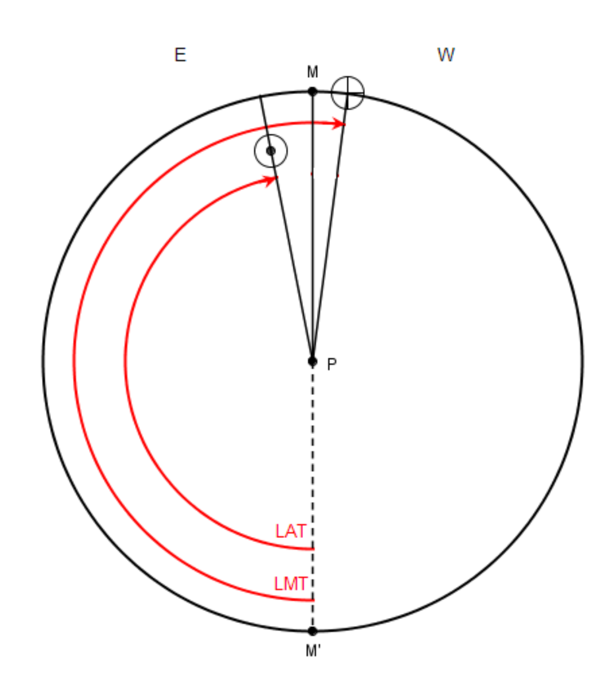
E
Q
W
P
TS
MS
GAT
GMT
Q'

$$Eq.T = GAT - GMT$$

وهي محصلة لمركبتين :

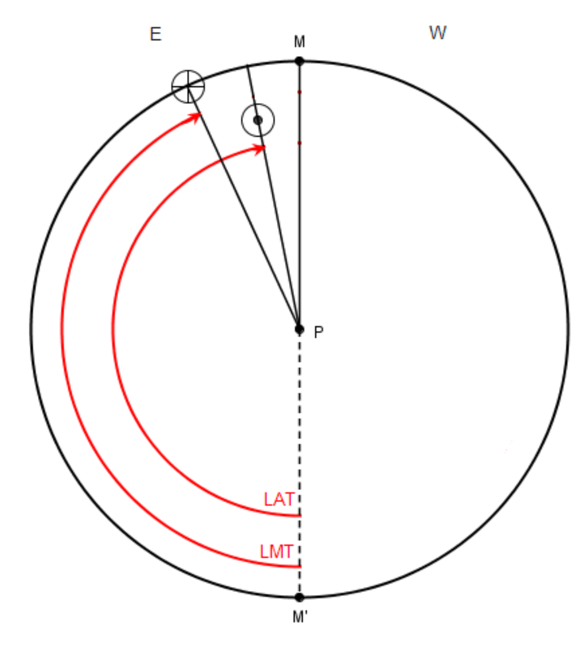
- مركبة الإختلاف المركزي الناتجه عن ضبط سرعة الشمس الحقيقية على الدائرة السماوية للحصول على الشمس التخيلية المنتظمة في سرعتها.
- مركبة الميلان الناتجه عن نقل حركة الشمس التخيلية لتتحرك على مستوى خط الإستواء السماوي للحصول على الشمس المتوسطة .

تكون محصلة المركبتين التي تمثل معادلة الوقت تساوي صفراً أربعة مرات في العام حوالي 15 أبريل ، و13 يونيو ، و1 سبتمبر ، و25 ديسمبر حيث تتساوى حينها كل من الزاوية الساعية للشمس المتوسطة مع الزاوية الساعية للشمس الحقيقية بمعنى تساوي كل من الوقت المتوسط والوقت الظاهري ، وأما في غير هذه الأيام الأربعة يبقى التباين بين الوقتين على مدار العام ، فتارة نجد أن دائرة زوال الشمس المتوسطة تسبق دائرة زوال الشمس الحقيقية فيكون الوقت المتوسط (MT) أكبر من الوقت الظاهري (AT) ، وفي هذه الحالة فإن قيمة معادلة الوقت تأخذ الإشارة السالبة ، وتارة أخرى نجد أن دائرة زوال الشمس المتوسطة متأخرة عن دائرة زوال الشمس الحقيقية فيكون الوقت المتوسط أصغر من الوقت الظاهري ، وفي هذه الحالة فإن قيمة معادلة الوقت تأخذ الإشارة الموجبة ، ولا تتجاوز قيمة معادلة الوقت 17 دقيقة زمنية .

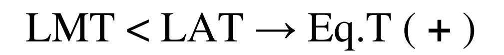


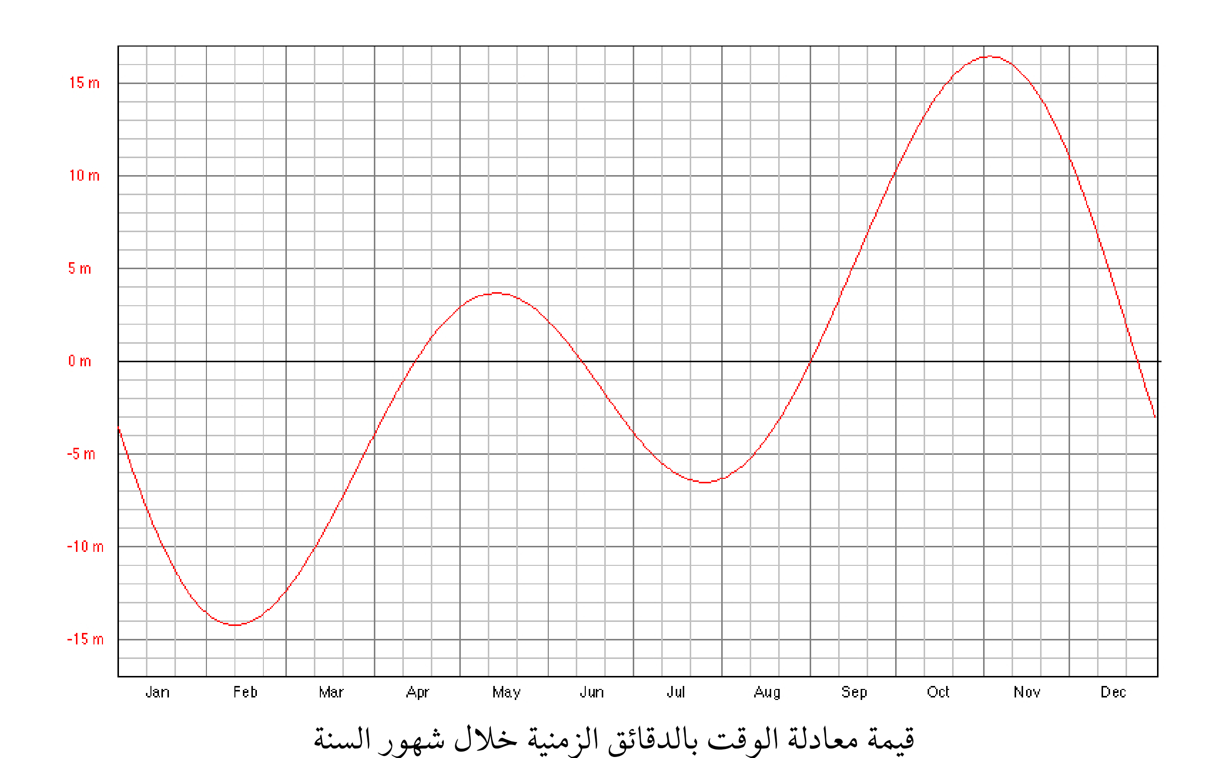
الشمس المتوسطة عبرت خط زوال الراصد قبل الشمس الظاهرية ، وبالتالي تكون الشمس المتوسطة سابقة الشمس الظاهرية .

$$LMT > LAT \rightarrow Eq.T\ (\ -\ )$$



الشمس المتوسطة ستعبر خط زوال الراصد بعد عبور الشمس الظاهرية ، وبالتالي تكون الشمس المتوسطة متأخرة عن الشمس الظاهرية .





قيمة معادلة الوقت بالدقائق الزمنية خلال شهور السنة

توفر الجداول الأربعة التالية قيمة معادلة الوقت للسنة الكبيسة، والسنوات البسائط الثلاث التي تليها على الترتيب، ولمعرفة معادلة الوقت لتاريخ معين، أنظر في السنة التي معك فإن كانت كبيسة فادخل في الجدول الأول، وخذ قيمة معادلة الوقت بحسب اليوم والشهر الذي معك، أما إذا كانت السنة التي معك هي أول سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة فادخل في الجدول الثاني، وإذا كانت ثان سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة فادخل في الجدول الثالث، أما إذا كانت ثالث سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة فادخل في الجدول الرابع، وتجدر الإشارة هنا إلى أن قيمة معادلة الوقت تختلف من سنة إلى أخرى إختلافاً طفيفاً، ورغم ذلك لابد من أخذ هذا الإختلاف في الإعتبار لمن يتحرى الدقة في الحساب، وذلك عن طريق إستخراج قيمة معادلة الوقت باستخدام التقاويم الفلكية .

جدول معادلة الوقت للسنة الكبيسة

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0:03:04	-0:13:25	-0:12:20	-0:03:53	0:02:54	0:02:11	-0:03:51	-0:06:20	-0:00:01	0:10:20	0:16:25	0:11:00
2	-0:03:32	-0:13:34	-0:12:08	-0:03:35	0:03:01	0:02:02	-0:04:02	-0:06:16	0:00:19	0:10:39	0:16:26	0:10:38
3	-0:04:01	-0:13:41	-0:11:56	-0:03:18	0:03:08	0:01:52	-0:04:13	-0:06:11	0:00:38	0:10:58	0:16:27	0:10:14
4	-0:04:28	-0:13:48	-0:11:43	-0:03:00	0:03:13	0:01:42	-0:04:24	-0:06:06	0:00:58	0:11:16	0:16:26	0:09:50
5	-0:04:56	-0:13:54	-0:11:30	-0:02:43	0:03:19	0:01:32	-0:04:34	-0:06:00	0:01:18	0:11:35	0:16:25	0:09:26
6	-0:05:22	-0:13:59	-0:11:16	-0:02:25	0:03:24	0:01:21	-0:04:44	-0:05:53	0:01:38	0:11:53	0:16:23	0:09:01
7	-0:05:49	-0:14:03	-0:11:01	-0:02:08	0:03:28	0:01:10	-0:04:54	-0:05:46	0:01:59	0:12:10	0:16:20	0:08:35
8	-0:06:15	-0:14:06	-0:10:47	-0:01:52	0:03:31	0:00:59	-0:05:03	-0:05:38	0:02:19	0:12:27	0:16:16	0:08:09
9	-0:06:40	-0:14:09	-0:10:32	-0:01:35	0:03:35	0:00:47	-0:05:12	-0:05:30	0:02:40	0:12:44	0:16:11	0:07:42
10	-0:07:05	-0:14:11	-0:10:16	-0:01:19	0:03:37	0:00:35	-0:05:21	-0:05:21	0:03:01	0:13:00	0:16:06	0:07:15
11	-0:07:30	-0:14:12	-0:10:01	-0:01:03	0:03:39	0:00:23	-0:05:29	-0:05:12	0:03:22	0:13:15	0:15:59	0:06:48
12	-0:07:53	-0:14:12	-0:09:45	-0:00:47	0:03:40	0:00:11	-0:05:37	-0:05:02	0:03:43	0:13:31	0:15:52	0:06:20
13	-0:08:17	-0:14:11	-0:09:28	-0:00:32	0:03:41	-0:00:01	-0:05:44	-0:04:51	0:04:04	0:13:45	0:15:44	0:05:52
14	-0:08:39	-0:14:10	-0:09:12	-0:00:17	0:03:41	-0:00:14	-0:05:51	-0:04:40	0:04:25	0:13:59	0:15:35	0:05:23
15	-0:09:01	-0:14:08	-0:08:55	-0:00:02	0:03:41	-0:00:27	-0:05:57	-0:04:29	0:04:47	0:14:13	0:15:25	0:04:54
16	-0:09:23	-0:14:06	-0:08:38	0:00:12	0:03:40	-0:00:40	-0:06:03	-0:04:17	0:05:08	0:14:26	0:15:14	0:04:25
17	-0:09:43	-0:14:02	-0:08:21	0:00:26	0:03:38	-0:00:53	-0:06:09	-0:04:04	0:05:29	0:14:38	0:15:03	0:03:56
18	-0:10:03	-0:13:58	-0:08:04	0:00:40	0:03:36	-0:01:06	-0:06:13	-0:03:51	0:05:51	0:14:50	0:14:51	0:03:26
19	-0:10:23	-0:13:54	-0:07:46	0:00:53	0:03:33	-0:01:19	-0:06:18	-0:03:38	0:06:12	0:15:01	0:14:37	0:02:57
20	-0:10:41	-0:13:48	-0:07:29	0:01:05	0:03:30	-0:01:32	-0:06:21	-0:03:24	0:06:33	0:15:12	0:14:24	0:02:27
21	-0:10:59	-0:13:42	-0:07:11	0:01:18	0:03:26	-0:01:46	-0:06:25	-0:03:09	0:06:55	0:15:22	0:14:09	0:01:57
22	-0:11:17	-0:13:36	-0:06:53	0:01:29	0:03:21	-0:01:59	-0:06:27	-0:02:54	0:07:16	0:15:31	0:13:53	0:01:27
23	-0:11:33	-0:13:28	-0:06:35	0:01:41	0:03:16	-0:02:12	-0:06:29	-0:02:39	0:07:37	0:15:39	0:13:37	0:00:57
24	-0:11:49	-0:13:20	-0:06:17	0:01:52	0:03:11	-0:02:25	-0:06:31	-0:02:23	0:07:58	0:15:47	0:13:20	0:00:28
25	-0:12:04	-0:13:12	-0:05:59	0:02:02	0:03:05	-0:02:38	-0:06:32	-0:02:06	0:08:19	0:15:55	0:13:02	-0:00:02
26	-0:12:18	-0:13:03	-0:05:41	0:02:12	0:02:59	-0:02:50	-0:06:32	-0:01:50	0:08:39	0:16:01	0:12:44	-0:00:32
27	-0:12:31	-0:12:53	-0:05:23	0:02:21	0:02:52	-0:03:03	-0:06:31	-0:01:32	0:09:00	0:16:07	0:12:24	-0:01:01
28	-0:12:44	-0:12:43	-0:05:05	0:02:30	0:02:45	-0:03:15	-0:06:30	-0:01:15	0:09:20	0:16:12	0:12:04	-0:01:30
29	-0:12:55	-0:12:32	-0:04:47	0:02:39	0:02:37	-0:03:27	-0:06:29	-0:00:57	0:09:40	0:16:17	0:11:44	-0:02:00
30	-0:13:06		-0:04:29	0:02:47	0:02:29	-0:03:39	-0:06:26	-0:00:38	0:10:00	0:16:20	0:11:22	-0:02:29
31	-0:13:16		-0:04:11		0:02:20		-0:06:23	-0:00:20		0:16:23		-0:02:57

جدول معادلة الوقت للسنة البسيطة الأولى

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0:03:26	-0:13:31	-0:12:22	-0:03:56	0:02:54	0:02:15	-0:03:46	-0:06:20	-0:00:05	0:10:15	0:16:25	0:11:06
2	-0:03:54	-0:13:39	-0:12:11	-0:03:38	0:03:01	0:02:06	-0:03:58	-0:06:16	0:00:14	0:10:34	0:16:26	0:10:44
3	-0:04:22	-0:13:46	-0:11:58	-0:03:21	0:03:08	0:01:56	-0:04:09	-0:06:11	0:00:34	0:10:53	0:16:27	0:10:20
4	-0:04:49	-0:13:52	-0:11:45	-0:03:03	0:03:14	0:01:46	-0:04:20	-0:06:06	0:00:53	0:11:12	0:16:26	0:09:56
5	-0:05:16	-0:13:57	-0:11:32	-0:02:46	0:03:19	0:01:36	-0:04:31	-0:06:01	0:01:13	0:11:30	0:16:25	0:09:32
6	-0:05:43	-0:14:02	-0:11:18	-0:02:29	0:03:24	0:01:25	-0:04:41	-0:05:55	0:01:33	0:11:48	0:16:23	0:09:07
7	-0:06:09	-0:14:06	-0:11:04	-0:02:12	0:03:28	0:01:14	-0:04:51	-0:05:48	0:01:53	0:12:05	0:16:20	0:08:41
8	-0:06:34	-0:14:09	-0:10:50	-0:01:55	0:03:32	0:01:02	-0:05:01	-0:05:40	0:02:14	0:12:22	0:16:17	0:08:15
9	-0:07:00	-0:14:11	-0:10:35	-0:01:39	0:03:35	0:00:51	-0:05:10	-0:05:32	0:02:34	0:12:39	0:16:12	0:07:49
10	-0:07:24	-0:14:12	-0:10:20	-0:01:22	0:03:37	0:00:39	-0:05:19	-0:05:24	0:02:55	0:12:55	0:16:07	0:07:22
11	-0:07:48	-0:14:13	-0:10:05	-0:01:06	0:03:39	0:00:27	-0:05:27	-0:05:15	0:03:16	0:13:11	0:16:01	0:06:55
12	-0:08:12	-0:14:13	-0:09:49	-0:00:51	0:03:40	0:00:14	-0:05:35	-0:05:05	0:03:37	0:13:26	0:15:54	0:06:27
13	-0:08:35	-0:14:12	-0:09:33	-0:00:35	0:03:41	0:00:02	-0:05:43	-0:04:55	0:03:58	0:13:41	0:15:46	0:05:59
14	-0:08:57	-0:14:10	-0:09:16	-0:00:20	0:03:41	-0:00:11	-0:05:50	-0:04:44	0:04:20	0:13:55	0:15:37	0:05:31
15	-0:09:19	-0:14:08	-0:09:00	-0:00:06	0:03:41	-0:00:24	-0:05:56	-0:04:32	0:04:41	0:14:09	0:15:28	0:05:02
16	-0:09:40	-0:14:04	-0:08:43	0:00:09	0:03:40	-0:00:37	-0:06:02	-0:04:20	0:05:03	0:14:22	0:15:18	0:04:33
17	-0:10:00	-0:14:01	-0:08:26	0:00:23	0:03:39	-0:00:50	-0:06:07	-0:04:08	0:05:24	0:14:35	0:15:07	0:04:04
18	-0:10:20	-0:13:56	-0:08:09	0:00:36	0:03:37	-0:01:03	-0:06:12	-0:03:55	0:05:46	0:14:47	0:14:55	0:03:35
19	-0:10:38	-0:13:51	-0:07:51	0:00:50	0:03:34	-0:01:16	-0:06:17	-0:03:41	0:06:07	0:14:59	0:14:42	0:03:05
20	-0:10:57	-0:13:45	-0:07:33	0:01:02	0:03:31	-0:01:29	-0:06:20	-0:03:27	0:06:29	0:15:10	0:14:28	0:02:36
21	-0:11:14	-0:13:38	-0:07:16	0:01:15	0:03:27	-0:01:42	-0:06:23	-0:03:12	0:06:50	0:15:20	0:14:14	0:02:06
22	-0:11:30	-0:13:31	-0:06:58	0:01:27	0:03:23	-0:01:55	-0:06:26	-0:02:57	0:07:11	0:15:29	0:13:58	0:01:36
23	-0:11:46	-0:13:23	-0:06:40	0:01:39	0:03:19	-0:02:07	-0:06:28	-0:02:42	0:07:32	0:15:38	0:13:42	0:01:06
24	-0:12:01	-0:13:14	-0:06:21	0:01:50	0:03:14	-0:02:20	-0:06:29	-0:02:26	0:07:53	0:15:47	0:13:26	0:00:37
25	-0:12:15	-0:13:05	-0:06:03	0:02:00	0:03:08	-0:02:33	-0:06:30	-0:02:09	0:08:14	0:15:54	0:13:08	0:00:07
26	-0:12:28	-0:12:55	-0:05:45	0:02:11	0:03:02	-0:02:46	-0:06:31	-0:01:53	0:08:35	0:16:01	0:12:50	-0:00:23
27	-0:12:41	-0:12:45	-0:05:27	0:02:20	0:02:55	-0:02:58	-0:06:30	-0:01:36	0:08:56	0:16:07	0:12:30	-0:00:53
28	-0:12:53	-0:12:34	-0:05:09	0:02:30	0:02:48	-0:03:10	-0:06:29	-0:01:18	0:09:16	0:16:12	0:12:10	-0:01:22
29	-0:13:03		-0:04:50	0:02:38	0:02:41	-0:03:23	-0:06:28	-0:01:00	0:09:36	0:16:16	0:11:50	-0:01:51
30	-0:13:14		-0:04:32	0:02:47	0:02:33	-0:03:35	-0:06:26	-0:00:42	0:09:56	0:16:20	0:11:28	-0:02:21
31	-0:13:23		-0:04:14		0:02:24		-0:06:23	-0:00:24		0:16:23		-0:02:49

جدول معادلة الوقت للسنة البسيطة الثانية

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0:03:18	-0:13:29	-0:12:25	-0:04:01	0:02:51	0:02:16	-0:03:46	-0:06:23	-0:00:11	0:10:09	0:16:24	0:11:11
2	-0:03:46	-0:13:37	-0:12:14	-0:03:43	0:02:58	0:02:06	-0:03:57	-0:06:19	0:00:08	0:10:29	0:16:25	0:10:49
3	-0:04:14	-0:13:44	-0:12:01	-0:03:26	0:03:05	0:01:57	-0:04:09	-0:06:15	0:00:27	0:10:48	0:16:26	0:10:26
4	-0:04:42	-0:13:51	-0:11:49	-0:03:08	0:03:11	0:01:47	-0:04:20	-0:06:10	0:00:47	0:11:06	0:16:26	0:10:03
5	-0:05:09	-0:13:56	-0:11:36	-0:02:51	0:03:16	0:01:36	-0:04:30	-0:06:04	0:01:07	0:11:25	0:16:25	0:09:38
6	-0:05:36	-0:14:01	-0:11:22	-0:02:34	0:03:21	0:01:26	-0:04:41	-0:05:58	0:01:27	0:11:43	0:16:24	0:09:14
7	-0:06:02	-0:14:05	-0:11:08	-0:02:17	0:03:26	0:01:15	-0:04:51	-0:05:51	0:01:47	0:12:01	0:16:21	0:08:48
8	-0:06:28	-0:14:08	-0:10:54	-0:02:00	0:03:29	0:01:04	-0:05:00	-0:05:44	0:02:08	0:12:18	0:16:18	0:08:23
9	-0:06:53	-0:14:10	-0:10:39	-0:01:43	0:03:33	0:00:52	-0:05:09	-0:05:36	0:02:29	0:12:35	0:16:14	0:07:56
10	-0:07:18	-0:14:12	-0:10:24	-0:01:27	0:03:35	0:00:40	-0:05:18	-0:05:27	0:02:50	0:12:51	0:16:09	0:07:30
11	-0:07:42	-0:14:12	-0:10:09	-0:01:11	0:03:38	0:00:28	-0:05:26	-0:05:18	0:03:11	0:13:07	0:16:03	0:07:03
12	-0:08:06	-0:14:12	-0:09:53	-0:00:55	0:03:39	0:00:16	-0:05:34	-0:05:08	0:03:32	0:13:23	0:15:56	0:06:35
13	-0:08:29	-0:14:11	-0:09:37	-0:00:40	0:03:40	0:00:04	-0:05:42	-0:04:58	0:03:53	0:13:38	0:15:49	0:06:07
14	-0:08:51	-0:14:10	-0:09:20	-0:00:24	0:03:41	-0:00:09	-0:05:49	-0:04:47	0:04:15	0:13:52	0:15:40	0:05:39
15	-0:09:13	-0:14:07	-0:09:04	-0:00:09	0:03:41	-0:00:21	-0:05:55	-0:04:35	0:04:36	0:14:06	0:15:31	0:05:10
16	-0:09:34	-0:14:04	-0:08:47	0:00:05	0:03:40	-0:00:34	-0:06:01	-0:04:23	0:04:57	0:14:20	0:15:21	0:04:41
17	-0:09:54	-0:14:00	-0:08:30	0:00:19	0:03:39	-0:00:47	-0:06:07	-0:04:11	0:05:19	0:14:32	0:15:10	0:04:12
18	-0:10:14	-0:13:56	-0:08:12	0:00:33	0:03:37	-0:01:00	-0:06:12	-0:03:58	0:05:40	0:14:45	0:14:58	0:03:43
19	-0:10:32	-0:13:51	-0:07:55	0:00:47	0:03:35	-0:01:13	-0:06:16	-0:03:45	0:06:02	0:14:56	0:14:45	0:03:13
20	-0:10:51	-0:13:45	-0:07:37	0:01:00	0:03:32	-0:01:26	-0:06:20	-0:03:31	0:06:23	0:15:07	0:14:32	0:02:43
21	-0:11:08	-0:13:38	-0:07:19	0:01:12	0:03:28	-0:01:39	-0:06:23	-0:03:16	0:06:44	0:15:17	0:14:17	0:02:14
22	-0:11:25	-0:13:31	-0:07:01	0:01:24	0:03:24	-0:01:52	-0:06:26	-0:03:02	0:07:05	0:15:27	0:14:02	0:01:44
23	-0:11:41	-0:13:24	-0:06:43	0:01:36	0:03:20	-0:02:05	-0:06:28	-0:02:46	0:07:26	0:15:36	0:13:46	0:01:14
24	-0:11:56	-0:13:15	-0:06:25	0:01:47	0:03:14	-0:02:18	-0:06:30	-0:02:31	0:07:47	0:15:44	0:13:29	0:00:44
25	-0:12:10	-0:13:06	-0:06:07	0:01:58	0:03:09	-0:02:31	-0:06:31	-0:02:15	0:08:08	0:15:51	0:13:12	0:00:14
26	-0:12:24	-0:12:57	-0:05:49	0:02:08	0:03:03	-0:02:44	-0:06:32	-0:01:58	0:08:29	0:15:58	0:12:54	-0:00:16
27	-0:12:37	-0:12:47	-0:05:31	0:02:18	0:02:56	-0:02:57	-0:06:32	-0:01:41	0:08:49	0:16:04	0:12:34	-0:00:46
28	-0:12:49	-0:12:36	-0:05:13	0:02:27	0:02:49	-0:03:09	-0:06:31	-0:01:24	0:09:10	0:16:10	0:12:15	-0:01:15
29	-0:13:00		-0:04:55	0:02:35	0:02:41	-0:03:22	-0:06:30	-0:01:06	0:09:30	0:16:14	0:11:54	-0:01:45
30	-0:13:11		-0:04:37	0:02:44	0:02:33	-0:03:34	-0:06:28	-0:00:48	0:09:50	0:16:18	0:11:33	-0:02:14
31	-0:13:20		-0:04:19		0:02:25		-0:06:26	-0:00:30		0:16:21		-0:02:42

جدول معادلة الوقت للسنة البسيطة الثالثة

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0:03:11	-0:13:27	-0:12:28	-0:04:06	0:02:49	0:02:18	-0:03:42	-0:06:23	-0:00:15	0:10:06	0:16:24	0:11:17
2	-0:03:39	-0:13:35	-0:12:17	-0:03:48	0:02:56	0:02:09	-0:03:54	-0:06:19	0:00:05	0:10:25	0:16:26	0:10:55
3	-0:04:07	-0:13:42	-0:12:04	-0:03:30	0:03:03	0:01:59	-0:04:05	-0:06:15	0:00:24	0:10:44	0:16:27	0:10:32
4	-0:04:35	-0:13:49	-0:11:52	-0:03:12	0:03:09	0:01:50	-0:04:16	-0:06:10	0:00:43	0:11:03	0:16:27	0:10:08
5	-0:05:02	-0:13:54	-0:11:39	-0:02:55	0:03:15	0:01:40	-0:04:27	-0:06:04	0:01:03	0:11:21	0:16:26	0:09:44
6	-0:05:29	-0:13:59	-0:11:25	-0:02:38	0:03:20	0:01:29	-0:04:37	-0:05:58	0:01:23	0:11:40	0:16:25	0:09:20
7	-0:05:55	-0:14:03	-0:11:11	-0:02:20	0:03:25	0:01:18	-0:04:47	-0:05:51	0:01:44	0:11:57	0:16:22	0:08:54
8	-0:06:21	-0:14:06	-0:10:57	-0:02:04	0:03:29	0:01:07	-0:04:57	-0:05:44	0:02:04	0:12:15	0:16:19	0:08:28
9	-0:06:46	-0:14:09	-0:10:42	-0:01:47	0:03:32	0:00:56	-0:05:06	-0:05:36	0:02:25	0:12:31	0:16:15	0:08:02
10	-0:07:11	-0:14:10	-0:10:27	-0:01:30	0:03:35	0:00:44	-0:05:15	-0:05:28	0:02:45	0:12:48	0:16:10	0:07:35
11	-0:07:35	-0:14:11	-0:10:12	-0:01:14	0:03:38	0:00:32	-0:05:24	-0:05:19	0:03:06	0:13:04	0:16:04	0:07:08
12	-0:07:59	-0:14:11	-0:09:56	-0:00:58	0:03:39	0:00:20	-0:05:32	-0:05:10	0:03:27	0:13:19	0:15:57	0:06:41
13	-0:08:22	-0:14:11	-0:09:40	-0:00:43	0:03:40	0:00:07	-0:05:39	-0:05:00	0:03:48	0:13:34	0:15:50	0:06:13
14	-0:08:45	-0:14:09	-0:09:24	-0:00:28	0:03:41	-0:00:05	-0:05:47	-0:04:49	0:04:10	0:13:49	0:15:42	0:05:44
15	-0:09:06	-0:14:07	-0:09:07	-0:00:13	0:03:41	-0:00:18	-0:05:53	-0:04:38	0:04:31	0:14:03	0:15:32	0:05:16
16	-0:09:28	-0:14:05	-0:08:50	0:00:02	0:03:40	-0:00:31	-0:06:00	-0:04:26	0:04:52	0:14:16	0:15:22	0:04:47
17	-0:09:48	-0:14:01	-0:08:34	0:00:16	0:03:39	-0:00:44	-0:06:05	-0:04:14	0:05:13	0:14:29	0:15:12	0:04:18
18	-0:10:08	-0:13:57	-0:08:16	0:00:30	0:03:37	-0:00:57	-0:06:11	-0:04:01	0:05:35	0:14:41	0:15:00	0:03:48
19	-0:10:27	-0:13:52	-0:07:59	0:00:43	0:03:35	-0:01:10	-0:06:15	-0:03:48	0:05:56	0:14:53	0:14:47	0:03:19
20	-0:10:46	-0:13:47	-0:07:42	0:00:56	0:03:32	-0:01:23	-0:06:19	-0:03:34	0:06:18	0:15:04	0:14:34	0:02:49
21	-0:11:04	-0:13:40	-0:07:24	0:01:08	0:03:28	-0:01:37	-0:06:23	-0:03:20	0:06:39	0:15:14	0:14:20	0:02:19
22	-0:11:21	-0:13:34	-0:07:06	0:01:20	0:03:24	-0:01:50	-0:06:26	-0:03:05	0:07:00	0:15:24	0:14:05	0:01:50
23	-0:11:37	-0:13:26	-0:06:48	0:01:32	0:03:20	-0:02:03	-0:06:28	-0:02:50	0:07:21	0:15:33	0:13:49	0:01:20
24	-0:11:52	-0:13:18	-0:06:30	0:01:43	0:03:15	-0:02:16	-0:06:30	-0:02:35	0:07:42	0:15:42	0:13:33	0:00:50
25	-0:12:07	-0:13:09	-0:06:12	0:01:54	0:03:09	-0:02:29	-0:06:31	-0:02:18	0:08:03	0:15:50	0:13:16	0:00:20
26	-0:12:21	-0:13:00	-0:05:54	0:02:05	0:03:03	-0:02:41	-0:06:32	-0:02:02	0:08:24	0:15:57	0:12:58	-0:00:09
27	-0:12:34	-0:12:50	-0:05:36	0:02:14	0:02:57	-0:02:54	-0:06:32	-0:01:45	0:08:45	0:16:03	0:12:39	-0:00:39
28	-0:12:46	-0:12:39	-0:05:18	0:02:24	0:02:50	-0:03:06	-0:06:31	-0:01:28	0:09:05	0:16:09	0:12:20	-0:01:08
29	-0:12:58		-0:05:00	0:02:33	0:02:42	-0:03:19	-0:06:30	-0:01:10	0:09:26	0:16:14	0:12:00	-0:01:38
30	-0:13:08		-0:04:42	0:02:41	0:02:35	-0:03:31	-0:06:28	-0:00:52	0:09:46	0:16:18	0:11:39	-0:02:07
31	-0:13:18		-0:04:24		0:02:26		-0:06:26	-0:00:33		0:16:21		-0:02:36

الجداول السابقة تعطي قيمة معادلة الوقت لبداية اليوم بتوقيت غرينتش للساعة GMT 00:00 ، فإذا كنت تريدها لساعة أخرى من ساعات اليوم، فذلك يستوجب أولاً أن تحول ساعات غرينتش التي معك إلى أجزاء من اليوم بقسمتها على 24^h، ثم أضفها مع اليوم الذي معك، واستخرج ما يقابلها من قيمة معادلة الوقت بطريقة التعديل بين السطرين، لليوم المطلوب واليوم التالي له، وبذلك تحصل على قيمة معادلة الوقت لأي ساعة من ساعات اليوم.

وقت المنطقة

Zone Time (ZT)

يرتبط الوقت المحلي المتوسط LMT مع وقت غرينتش المتوسط GMT بخطوط الطول، ولما كانت الشمس المتوسطة تقطع دورة كاملة حول الأرض $360°$ خلال 24^h ساعة متوسطة ،فهذا يعني بأننا لو رصدنا الشمس عند خط طول $48°$ شرق، فإنها وبعد مضي 4^m دقائق زمنية ستكون عند خط الطول المجاور $47°$ شرق، ثم $46°$ شرق، وهكذا بحيث تتنقل من خط طول إلى أخر خلال أربعة دقائق زمنية فقط، وبثبات وقت غرينتش المتوسط الذي هو أساس القياس، فإن قيمة الوقت المحلي المتوسط تتغير بتغير خط الطول، بمعنى أنه يستلزم تغيير الوقت كلما تغير خط طول الراصد، وبوجود 360 خط طول لا يكون هذا الأمر عملياً على الإطلاق، ومن هنا جاءت فكرة تقسيم سطح الأرض إلى 24 منطقة زمنية، تتسع كل منطقة منها بمقدار $15°$ من خطوط الطول، بحيث يكون هناك توقيت واحد لكل منطقة يسمى وقت المنطقة ZT أو الوقت المدني الموحد، الذي يعرف على أنه الوقت المحلي المتوسط LMT لخط الطول المنصف للمنطقة الزمنية ،ويختلف عن وقت غرينتش المتوسط بعدد صحيح من الساعات.

فالمنطقة الزمنية رقم صفر تمتد بين خطي طول $7.5°$ غرب و $7.5°$ شرق حيث يكون خط طول غرينتش هو خط الطول الرئيسي المنصف لهذه المنطقة، ويكون وقت المنطقة داخل حدود المنطقة صفر هو وقت غرينتش المتوسط GMT.

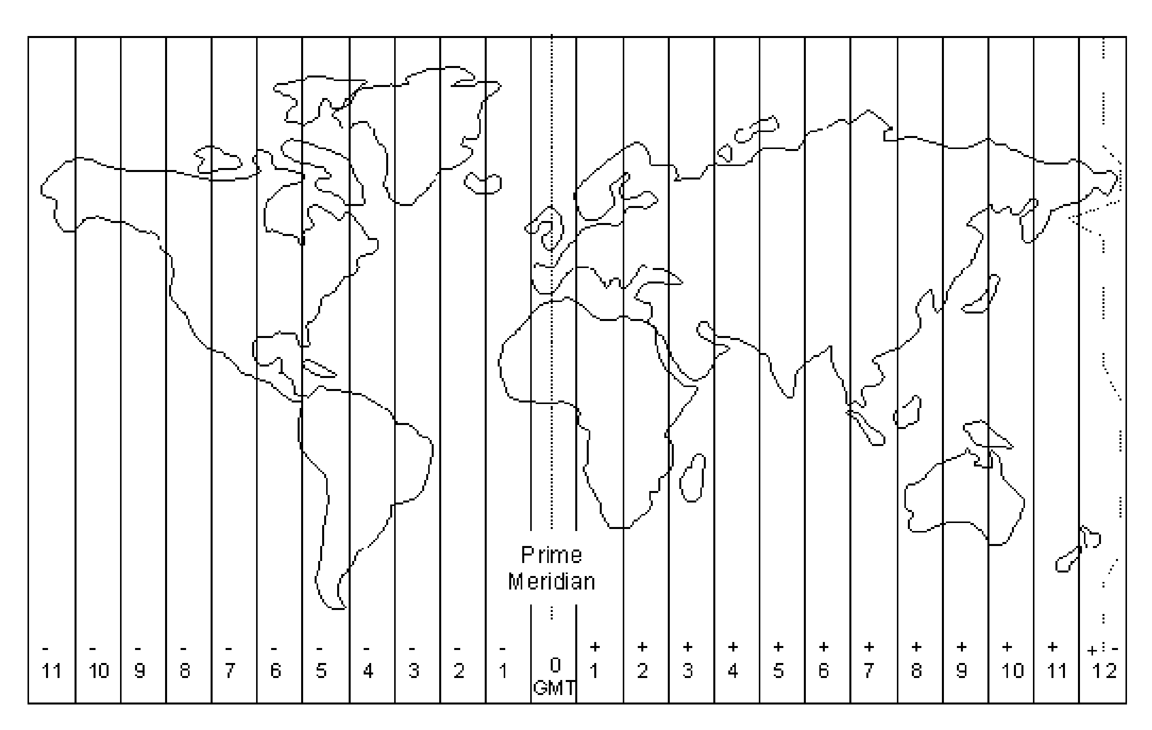
وتمتد المنطقة الزمنية رقم +1 بين خطي طول $7.5°$ شرق و $22.5°$ شرق حيث يكون خط طول $15°$ شرق هو خط الطول الرئيسي المنصف لهذه المنطقة، ويكون وقت المنطقة داخل حدود المنطقة +1 هو وقت غرينتش المتوسط GMT + 1 ساعة.

والمنطقة الزمنية رقم +2 تمتد بين خطي طول $22.5°$ شرق و $37.5°$ شرق حيث يكون خط طول $30°$ شرق هو خط الطول الرئيسي المنصف لهذه المنطقة، ويكون وقت المنطقة داخل حدود المنطقة +2 هو وقت غرينتش المتوسط GMT + 2 ساعة .

بينما تمتد المنطقة الزمنية رقم - 1 بين خطي طول 7.5° غرب و 22.5° غرب حيث يكون خط طول 15° غرب هو خط الطول الرئيسي المنصف لهذه المنطقة، ويكون وقت المنطقة داخل حدود المنطقة - 1 هو وقت غرينتش المتوسط GMT – 1 ساعة.

والمنطقة الزمنية رقم - 2 تمتد بين خطي طول 22.5° غرب و 37.5° غرب حيث يكون خط طول 30° غرب هو خط الطول الرئيسي المنصف لهذه المنطقة، ويكون وقت المنطقة داخل حدود المنطقة - 2 هو وقت غرينتش المتوسط GMT - 2 ساعة .

وهكذا تستمر خطوط الطول الرئيسية المنصفة للمناطق الزمنية في الإتجاهين الشرقي والغربي 0 ، 15 ، 30 ، 45 ، 60 ، 75 ، 90 ، 105 ، 120 ، 135 ، 150 ، 165 ، 180 لتحدد إمتداد كل منطقة زمنية بواقع $\pm 7.5^\circ$ من هذه الخطوط الرئيسية .



المناطق الزمنية حول العالم

بهذا المفهوم إرتبط وقت المنطقة ZT بوقت غرينتش المتوسط GMT بالعلاقة التالية :

$$ZT = GMT \pm ZN$$

حيث أن ZN يمثل رقم المنطقة وهو عدد صحيح من الساعات نحصل عليه بقسمة خط الطول على 15 ،وجبر الكسر لاقرب عدد صحيح، ويأخذ الإشارة الموجبة إذا كان خط الطول شرقي والإشارة السالبة إذا كان خط الطول غربي، وعلى سبيل المثال فإن رقم المنطقة بالنسبة لدولة الكويت خط طول $48°$ شرق يعادل $48° \div 15 = 3.2^h$ ،وبجبر الكسر لأقرب عدد صحيح نحصل على 3^h ،ويأخذ الإشارة الموجبة لأنه شرقي، بمعنى أنه إذا كان وقت غرينتش المتوسط 1400 فإن وقت المنطقة في دولة الكويت يكون 1700 .

بينما يرتبط وقت المنطقة ZT بالوقت المحلي المتوسط LMT بالعلاقة التالية :

$$LMT = ZT \pm D.Lo$$

حيث أن D.Lo يمثل فرق الأجزاء الزوالية بين خط طول الراصد وخط الطول الرئيسي المنصف للمنطقة الزمنية، ويأخذ الإشارة الموجبة إذا كان خط طول الراصد شرقي خط الطول الرئيسي والإشارة السالبة إذا كان خط طول الراصد غربي خط الطول الرئيسي، وتكون قيمته دون 30^m دقيقة زمنية، ففرق الأجزاء الزوالية لدولة الكويت خط طول $48°$ شرق $48° - 45° = 3°$ وتعادل 12^m دقيقة زمنية، ويأخذ الإشارة الموجبة لأنه شرقي خط الطول الرئيسي $45°$.

خط التاريخ الدولي
International Date Line (IDL)

لما كان كل خط طول رئيسي ينصف منطقة زمنية معينة بحيث تحمل كل منطقة رقماً معيناً ZT يحدد بحسب موقعها الجغرافي بالنسبة لخط طول غرينتش، فإن خط الطول الرئيسي $180°$ ينصف المنطقة الزمنية رقم 12 الممتدة بين خطي طول $172.5°$ شرق و $172.5°$ غرب، وبسبب كون هذه المنطقة تمتد مناصفة بين الشرق والغرب، أوجب بالضرورة وجود إختلاف في التوقيت على جانبي خط الطول المنصف لها، فعلى إفتراض أن وقت غرينتش المتوسط 2400 فسيكون وقت المنطقة رقم 12 هو 1200 مع فارق زمني مقداره 24 ساعة بين طرفيها الشرقي والغربي، حيث سيكون التوقيت في الطرف الغربي 1200 في حين سيكون في الطرف الشرقي 1200 من اليوم التالي .

يرجع ذلك إلى أنه في نظام وقت المنطقة ZT يزداد التوقيت ساعة واحدة لكل منطقة زمنية كلما إتجهنا شرقاً عن خط طول غرينيتش، بينما ينقص ساعة واحدة لكل منطقة زمنية كلما إتجهنا غرباً ،مما يؤدي إلى وجود منطقة زمنية ذات توقيتين مختلفين على جانبي خط الطول الرئيسي المنصف لها، وهو خط طول $180°$ ،ولمعالجة هذه المشكلة، تم فرض خط وهمي شبه منطبق على خط طول $180°$ بحيث ينحرف عنه المناطق المأهولة بالسكان، على أن يبدأ كل يوم جديد من هذا الخط المسمى بخط التاريخ الدولي IDL ،وبالتالي يكون هناك تاريخين مختلفين على جانبي هذا الخط .

الوقت القياسي
Standard time (St.T)

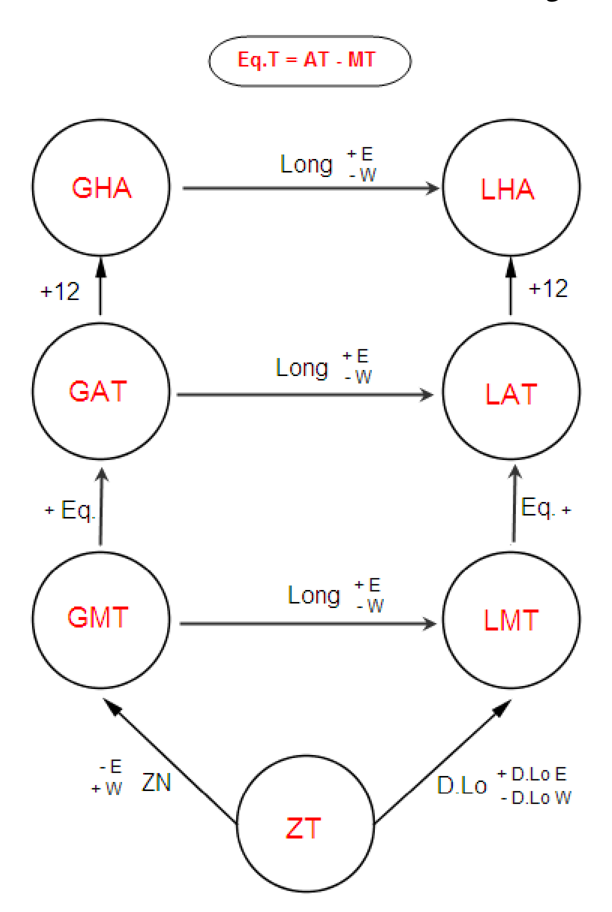
هو الوقت المحلي المتوسط لخط الطول المنصف للدولة أو الإقليم، ويعتبر الوقت القياسي St.T نوع معدل من وقت المنطقة ZT ،فهو يرتبط بالحدود الإقليمية للدولة بدلاً من خطوط الطول ،فحدود الدولة أو الإقليم هي التي تحدد الوقت القياسي، خاصة تلك الدول الممتدة على عدة درجات طولية، الأمر الذي يترتب عليه وجود أكثر من منطقة زمنية داخل الدولة الواحدة، بالتالي وجود أكثر من توقيت واحد، وبالطبع لا يكون هذا الأمر عملياً على الإطلاق، لذا جاءت فكرة إقرار نظام الوقت القياسي لاحتفاظ الدولة بنفس التوقيت، ويختلف الوقت القياسي عن وقت غرينتش المتوسط بالساعات والدقائق.

التوقيت الصيفي
Daylight saving time (DST)

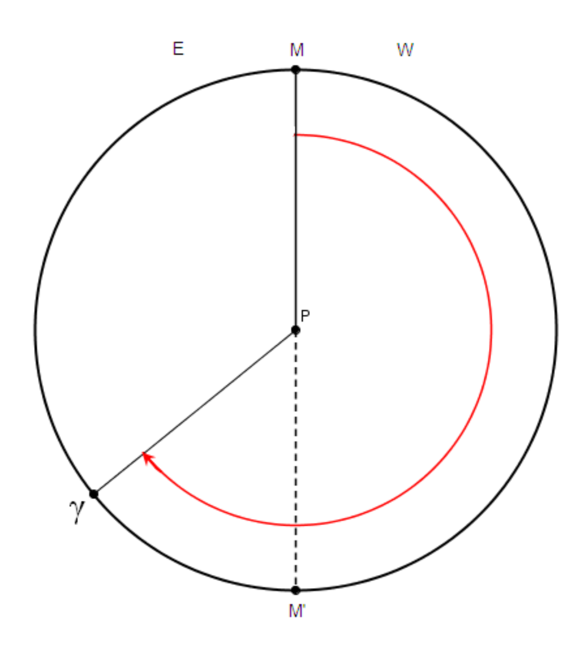
يعرف التوقيت الصيفي DST على أنه عملية تبكير الوقت الرسمي للدولة أو الإقليم بمقدار ساعة زمنية في فترة معينة من السنة ، ثم إعادته مرة أخرى لوضعه الأصلي لغرض إقتصادي بحت ، حيث تتم هذه العملية في أشهر الصيف تحديداً، وذلك للإستفادة من الوقت المبكر لشروق الشمس في العمل وتوفير الطاقة ، ولابد من أخذ كل من قيمة الوقت الصيفي DST ، والوقت القياسي St.T إن وجد في الإعتبار عند حساب المواقيت الفلكية .

حساب الوقت الشمسي

الشكل الموضح أدناه عبارة عن العلاقات بين المواقيت المرتبطة بحركة الشمس ، ويمكن من خلاله الحصول على أي وقت بشكل أكثر سهوله ، وذلك عن طريق تتبع الخطوات الموضحة بالأسهم مع مراعاة الإشارات عند التنقل فيما بينها .



الوقت النجمي المحلي
Local Sidereal Time (LST)



طول القوس على خط الإستواء السماوي أو الزاوية المقاسة عند القطب P إبتداءً من خط الزوال العلوي للراصد PM وحتى خط الزوال المار بنقطة الإعتدال الربيعي Pγ باتجاه الغرب ، ويعبر عنها بوحدات زمنية أي تلك الفترة التي مرت منذ لحظة المرور الزوالي العلوي لنقطة الإعتدال الربيعي ، وهي تساوي الزاوية الساعية المحلية لنقطة الإعتدال الربيعي.

LST = LHAγ

الوقت النجمي لغرينتش
Greenwich Sidereal Time (GST)

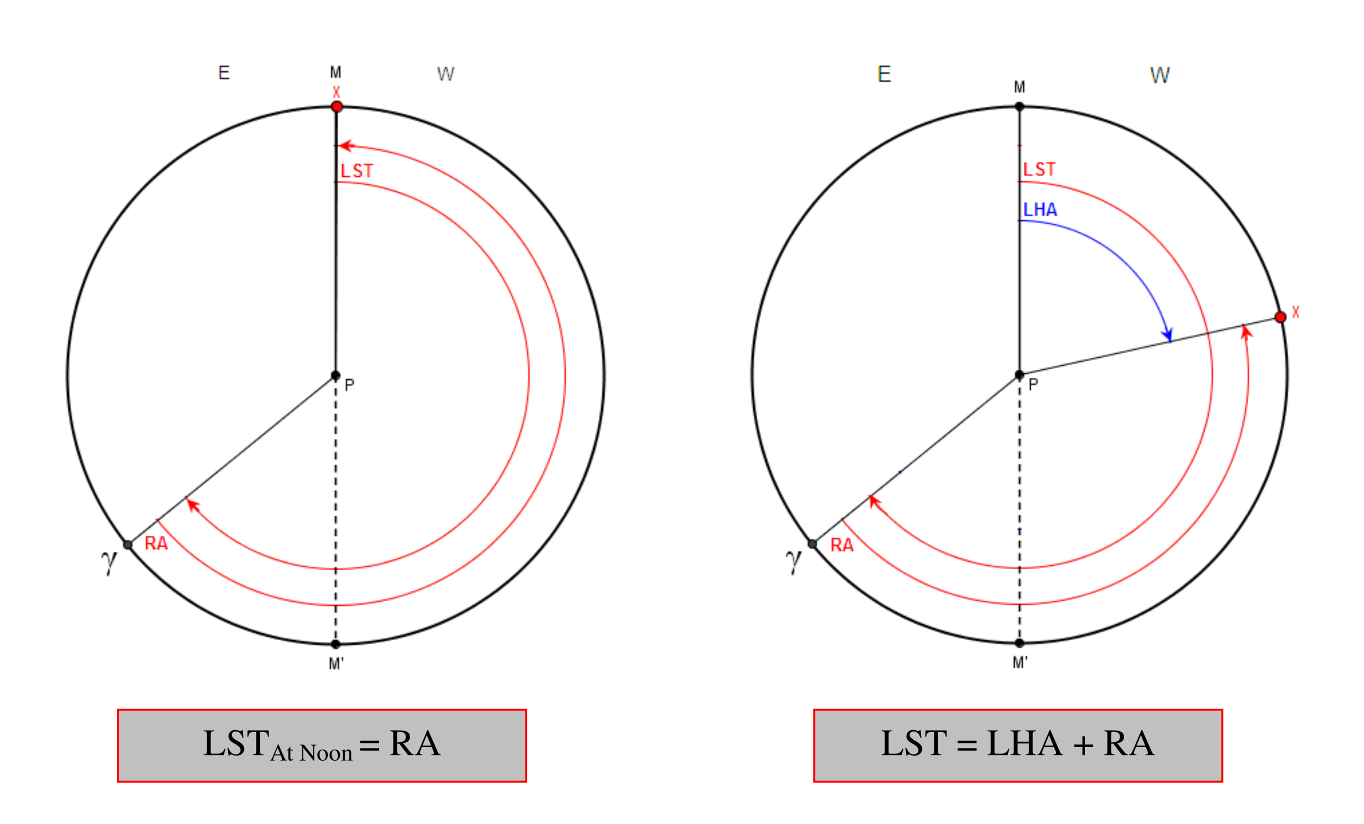
طول القوس على خط الإستواء السماوي أو الزاوية المقاسة عند القطب P إبتداءً من خط الزوال العلوي لغرينتش PQ وحتى خط الزوال المار بنقطة الإعتدال الربيعي Pγ باتجاه الغرب ، ويعبر عنها بوحدات زمنية أي تلك الفترة التي مرت منذ لحظة المرور الزوالي العلوي لنقطة الإعتدال الربيعي أو نجم معين ، وهي تساوي الزاوية الساعية لغرينتش لنقطة الإعتدال الربيعي.

GST = GHAγ

العلاقة بين الوقت النجمي المحلي LST والوقت النجمي لغرينتش GST تعطى كالتالي :

LST = GST ± Long

بالنظر إلى مفهوم كل من الوقت النجمي المحلي LST، والزاوية الساعية المحلية LHA، والمطلع المستقيم RA سنلاحظ أن الوقت النجمي المحلي LST للجرم السماوي X عند أي وقت يساوي مجموع كل من الزاوية الساعية المحلية LHA، والمطلع المستقيم RA لهذا الجرم السماوي .

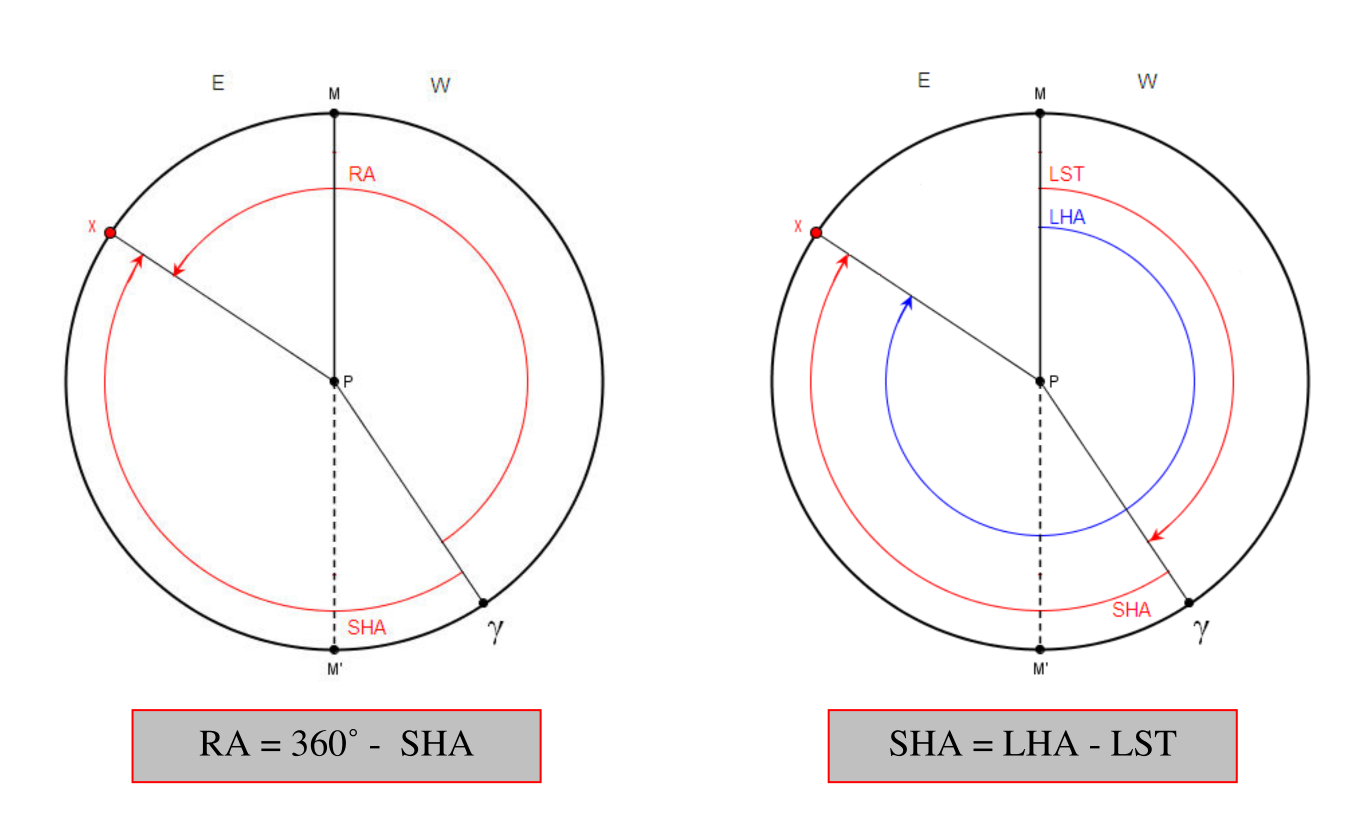


بينما عند اللحظة التي يعبر فيها الجرم السماوي X خط زوال الراصد فإن قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA لهذا الجرم تساوي 0^h أو 24^h، وبالتالي تكون قيمة الوقت النجمي المحلي LST مساوية للمطلع المستقيم RA لهذا الجرم السماوي عند هذه اللحظة، فإذا إستخرجنا الوقت النجمي المحلي LST عند وقت زوال أي جرم سماوي كان الحاصل هو المطلع المستقيم RA لهذا الجرم عند ذلك الوقت تحديداً .

وبعد أن يتم الجرم السماوي X عبوره الزوالي متجهاً في حركته الظاهرية اليومية إلى الغرب يبدأ قياس الزاوية الساعية المحلية LHA لهذا الجرم، وبذلك نستنتج العلاقة التي يمكننا من خلالها معرفة الزاوية بين خط الزوال العلوي للراصد وخط الزوال المار بالجرم السماوي، وبالتالي معرفة الوقت المتبقي لعبور الجرم السماوي X خط زوال الراصد أو الماضي منه .

$$LHA = LST - RA$$

وبالعودة كذلك إلى مفهوم الزاوية الساعية النجمية SHA سنجد أيضاً أن قيمتها للجرم السماوي X في وقت ما تساوي ناتج طرح الوقت النجمي المحلي LST من الزاوية الساعية المحلية LHA لهذا الجرم عند ذلك الوقت ، مع ملاحظة أن الزاوية الساعية النجمية SHA ، والمطلع المستقيم RA يتمم كل منهما الآخر إلى 360° أو 24^h .

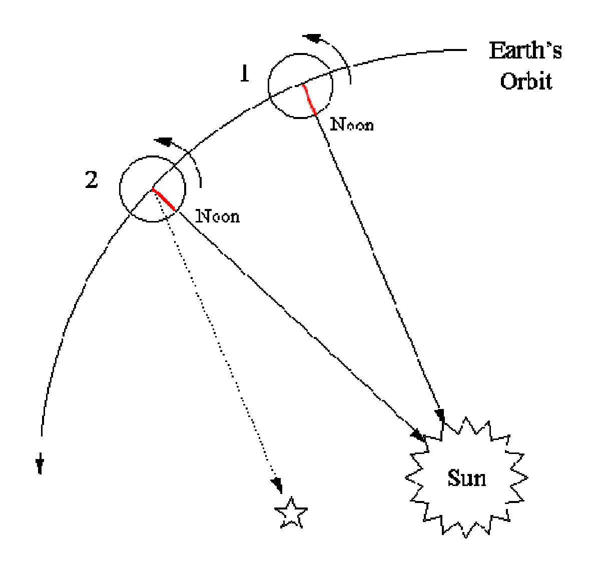


$$RA = 360^\circ - SHA$$

$$SHA = LHA - LST$$

الوقت النجمي والوقت الشمسي

تدور الكرة الأرضية حول محورها مرة كل يوم، وخلال هذه الدورة تعبر نجمة ما خط زوال الراصد ثم تعود لعبوره ثانية فنطلق على هذه الفترة التي إستغرقها النجم بين العبورين إسم اليوم النجمي ،والأمر نفسه يحدث للشمس غير أننا نطلق على الفترة التي إستغرقتها الشمس بين العبورين إسم اليوم الشمسي، وبالقياس يتبين لنا بأن هذين اليومين غير متساويين، ويمكن تفسير هذا الإختلاف على النحو التالي :



بفرض أنه وفي وقت معين تم رصد كل من الشمس والنجم لحظة عبورهما خط زوال الراصد معاً (الوضع 1) فإنه وبعد أن تتم الأرض دورة كاملة حول محورها (الوضع 2) سنلاحظ بأن الشمس لا تعبر خط زوال الراصد في لحظة عبور النجم بل تتاخر عنه بحوالي $03^{m}\ 55.9^{s}$ ،ويرجع ذلك إلى أن الأرض عندما أتمت دورتها حول محورها قد تحركت على مدارها حول الشمس بحوالي 0.9856° ،بالتالي تبقى الأرض بحاجة إلى أن تضيف لدورتها حول محورها قليلاً قبل أن تبلغ الشمس خط زوال الراصد معنى ذلك أن زمن اليوم النجمي يقل بحوالي $03^{m}\ 55.9^{s}$ عن زمن اليوم الشمسي فإذا ما رصدنا لحظة عبور النجم على خط زوال الراصد فإن هذا النجم سيعود ليعبره متقدماً عن لحظة عبوره السابق بمقدار $03^{m}\ 55.9^{s}$ في اليوم الأول و $07^{m}\ 51.82^{s}$ في اليوم الثاني وهكذا فيكون مقدار اليوم النجمي $23^{h}\ 56^{m}\ 4.09^{s}$ من اليوم الشمسي المتوسط.

1^{d} of mean solar time = $1^{d}.00273790935$ of mean sidereal time

تعيين الوقت النجمي

يتعين الوقت النجمي لغرينتش GST باستخدام المعادلة التالية :

$$GST^h = GST_0 + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

حيث GMT يمثل وقت غرينتش المتوسط ، و d رقم اليوم من السنة (1 يناير ← d = 1) بينما GST_0 يمثل قيمة الوقت النجمي الصفري لغرينتش عند بداية السنة ويوفر الجدول التالي هذه القيمة للسنين ما بين سنة 1980 م وحتى سنة 2051 م .

Year	GST_0	Year	GST_0	Year	GST_0	Year	GST_0
1980	06 35 18	1998	06 37 50	2016	06 36 25	2034	06 38 57
1981	06 38 17	1999	06 36 52	2017	06 39 24	2035	06 37 59
1982	06 37 20	2000	06 35 55	2018	06 38 27	2036	06 37 02
1983	06 36 22	2001	06 38 54	2019	06 37 29	2037	06 40 01
1984	06 35 25	2002	06 37 57	2020	06 36 32	2038	06 39 03
1985	06 38 25	2003	06 36 59	2021	06 39 31	2039	06 38 06
1986	06 37 28	2004	06 36 02	2022	06 38 34	2040	06 37 09
1987	06 36 31	2005	06 39 02	2023	06 37 37	2041	06 40 08
1988	06 35 34	2006	06 38 05	2024	06 36 40	2042	06 39 11
1989	06 38 33	2007	06 37 08	2025	06 39 39	2043	06 38 14
1990	06 37 36	2008	06 36 11	2026	06 38 42	2044	06 37 17
1991	06 36 39	2009	06 39 11	2027	06 37 45	2045	06 40 17
1992	06 35 42	2010	06 38 13	2028	06 36 48	2046	06 39 20
1993	06 38 41	2011	06 37 16	2029	06 39 48	2047	06 38 23
1994	06 37 44	2012	06 36 19	2030	06 38 50	2048	06 37 25
1995	06 36 46	2013	06 39 18	2031	06 37 53	2049	06 40 25
1996	06 35 49	2014	06 38 20	2032	06 36 56	2050	06 39 27
1997	06 38 48	2015	06 37 23	2033	06 39 55	2051	06 38 30

الوقت النجمي لغرينتش GST لبداية السنة

ومن ثم يمكننا تعيين الوقت النجمي المحلي LST بإضافة طول الراصد الشرقي وطرح الغربي بعد تحويلة إلى وحدات زمنية (Long ÷ 15) من الوقت النجمي لغرينتش GST .

$$LST = GST \pm Long$$

الميل الكلي

هو ميل الدائرة السماوية (ε) ، ويعرف على أنه الزاوية المحصورة بين محور دوران الكرة الأرضية والعمود القائم على مستوى الدائرة السماوية ، أو الزاوية بين مستوى دائرة خط الإستواء السماوي ومستوى الدائرة السماوية الكسوفية ، وتقدر قيمتة في وقتنا الحاضر $23°\ 26'\ 21.448''$ ، وهو آخذ في التناقص بمعدل $0.4684''$ لكل سنة ، ويمكن حساب درجة الميل الكلي باستخدام المعادلة التالية مع إعتبار Y السنة المطلوبة .

$$\varepsilon = 23°\ \ 26'\ \ 21.448'' - \left[0.4684\,(\,Y - 2000\,)\,/\,3600\right]$$

الطول السماوي للشمس

يعرف كذلك بالطول البروجي (λ)، وهو المسافة الزاوية المقاسة شرقاً على مستوى الدائرة السماوية من $0°$ - $360°$ إبتداءً من نقطة الإعتدال الربيعي γ وحتى الدائرة العظمى الواصلة بين قطبي الدائرة السماوية والواصلة بالجرم، ويتطلب حسابه إيجاد كل من المطلع المستقيم للشمس في اليوم المحدد والميل الكلي، حيث نعوض بالعلاقة التالية مع العلم بأن قيمة الطول السماوي يجب أن تكون دائماً في نفس الربع من الدائرة الذي يتواجد فيه المطلع المستقيم .

$$Tan(\lambda) = \frac{\mathrm{Tan(RA)}}{Cos(\varepsilon)}$$

ميل الشمس

يعتبر الميل Dec أحد العناصر المكونة للإحداثيات الإستوائية لأي جرم سماوي، على إعتبار أن العنصر الآخر هو المطلع المستقيم RA، ولحساب ميل الشمس Dec يستوجب توافر قيمة كل من مطلع الشمس RA ، والميل الكل للدائرة السماوية ε، فإذا حصل ذلك إضرب جيب مطلع الشمس في ظل الميل الكلي تحصل على ظل ميل الشمس .

$$Tan(Dec) = \mathrm{Sin(RA)Tan}(\varepsilon)$$

مثال (1) : بالنسبة لراصد على خط طول W '56 °099 تم تسجيل الوقت المحلي المتوسط LMT ليوم 15 أبريل فكان $11^h\ 04^m\ 55^s$ فما قيمة الوقت المتوسط لغرينتش GMT عند تلك اللحظة .

LMT	$11^h\ 04^m\ 55^s$	,15 April
Long ÷15	$06^h\ 39^m\ 44^s$	+W
GMT	$17^h\ 44^m\ 39^s$	,15 April

مثال (2) : إحسب معادلة الوقت Eq.T ليوم 15 مارس 2008 .

سنة 2008 كبيسة، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة الكبيسة) ونأخذ القيمة المقابلة لتاريخ 15 مارس.

$Eq.T = -\ 08^m\ \ 55^s$

مثال (3) : سجل الوقت المتوسط لغرينتش GMT ليوم 1 مارس 2008 لراصد على خط طول E '5.6 °048 فكان يشير إلى $10^h\ 24^m\ 12^s$ فما قيمة الوقت المحلي الظاهري LAT بالنسبة للراصد عند تلك اللحظة إذا علمت أن معادلة الوقت $-\ 12^m\ 20^s$.

GMT	$10^h\ 24^m\ 12^s$	,1 March
Eq.T	$00^h\ 12^m\ 20^s$	(Eq.T -) MT > AT
GAT	$10^h\ 11^m\ 52^s$	,1 March
Long ÷15	$03^h\ 12^m\ 22.4^s$	+E
LAT	$13^h\ 24^m\ 14.4^s$	,1 March

مثال (4) : إذا علمت أن وقت المنطقة ZT $18^h\ 23^m\ 00^s$ يوم 6 مايو بالنسبة إلى راصد على خط طول W '16 °137 فما قيمة الوقت المتوسط لغرينتش GMT عند تلك اللحظة .

ZT	$18^h\ 23^m\ 00^s$	,6 May
ZN	09^h	+W
GMT	$03^h\ 23^m\ 00^s$	,7 May

مثال (5) : تم تسجيل الزاوية الساعية لغرينتش للشمس الحقيقية GHA☉ فكانت تعادل بالدرجات '16.4 °37 فكم تكون قيمة وقت المنطقة ZT بالنسبة لراصد على خط طول 039° 49' E عند تلك اللحظة إذا علمت أن قيمة معادلة الوقت $+02^{m}\ 53^{s}$.

```
GHA☉÷15   02 h 29 m 5.6 s
        ±  12
------------------------------------------------
GAT        14 h 29 m 5.6 s
Eq.T       00 h 12 m 16 s    (Eq.T +)  MT < AT
------------------------------------------------
GMT        14 h 26 m 12.6 s
ZN         03 h               +E
------------------------------------------------
ZT         17 h 26 m 12.6 s
```

مثال (6) : إحسب لحظة المرور الزوالي للشمس (وقت الظهر) بالنسبة لراصد على خط طول 048° 5.6' E إذا علمت أن قيمة معادلة الوقت $+01^{m}\ 42^{s}$.

```
LAT At Noon  12 h 00 m 00 s
Eq.T         00 h 01 m 42 s    (Eq.T +)  MT < AT
------------------------------------------------
LMT          11 h 58 m 18 s
Long         03 h 12 m 22.4 s  - E
------------------------------------------------
GMT          08 h 45 m 55.6 s
ZN           03                + E
------------------------------------------------
ZT Noon      11 h 45 m 55.6 s
```

مثال (7) : تم تسجيل لحظة المرور الزوالي للنجم Altair بالتوقيت الموحد $ZT\ 18^{h}\ 21^{m}$ ، وبعد مضي أربعة أيام تم التجهيز لعملية الرصد التالية فما هو الوقت المتوقع لمرور النجم .

سيتقدم موعد مرور النجم بمعدل $03^{m}\ 55.9^{s}$ لكل يوم، وبعد مضي أربعة أيام سيكون قد تقدم بمقدار $15^{m}\ 43.6^{s}$ ($4^{d} \times 03^{m}\ 55.9^{s}$)، وبذلك يكون وقت عبور النجم في اليوم الرابع عند تمام الساعة $18^{h}\ 05^{m}\ 16^{s}$ بالتوقيت المدني الموحد ZT .

<u>مثال (8)</u> : إحسب الوقت النجمي المحلي LST يوم 10 سبتمبر 2009 للساعة $02^h\ 24^m$ ZT بتوقيت دولة الكويت خط طول $48°$ E .

ZT	$02^h\ 24^m\ 00^s$	,10 Sep.
ZN	03^h	- E
GMT	$23^h\ 24^m\ 00^s$	,9 Sep

$GST = GST_{2009} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h\ 39^m\ 11^s + 0.0657098244 * 252 + 1.00273791 * 23^h\ 24^m\ 00^s$

$GST = 22^h\ 40^m\ 33.59^s$

$LST = GST + Long_{(E)}$

$LST = 22^h\ 40^m\ 33.59^s + (48° \div 15)$

$LST = 22^h\ 40^m\ 33.59^s + 03^h\ 12^m\ 00^s$

$LST = 01^h\ 52^m\ 33.59^s$

<u>مثال (9)</u> : تم تسجيل وقت المنطقة ZT لشروق الشمس يوم 23 فبراير 2009 لراصد على خط طول $032°$ E فكان $06^h\ 23^m$ ZT فكم يكون وقت المنطقة ZT لشروق الشمس لراصد على خط طول $027°$ E .

ZT_1	$06^h\ 23^m\ 00^s$	, 23 Feb.
$D.Lo_1$	$00^h\ 08^m\ 00^s$	+ D.Lo E
LMT	$06^h\ 31^m\ 00^s$	
$D.Lo_2$	$00^h\ 12^m\ 00^s$	+ D.Lo W
ZT_2	$06^h\ 43^m\ 00^s$	, 23 Feb.

مثال (10) : تم تسجيل وقت المنطقة ZT لزوال الشمس يوم 11 يوليو 2010 لراصد على خط طول E '07 °048 فكان $ZT\ 11^h\ 53^m\ 03^s$، فكم يكون وقت المنطقة ZT لزوال الشمس لراصد على خط طول E '12 °147 .

ZT_1	$11^h\ 53^m\ 03^s$	, 11 Jul.
ZN_1	$03^h\ 00^m\ 00^s$	- Long E
----------	----------	----------
GMT	$08^h\ 53^m\ 03^s$	, 11 Jul.
$Long_1$	$03^h\ 12^m\ 28^s$	+ Long E
----------	----------	----------
LMT	$12^h\ 05^m\ 31^s$	, 11 Jul.

LMT	$12^h\ 05^m\ 31^s$	, 11 Jul.
$Long_2$	$09^h\ 48^m\ 48^s$	- Long E
----------	----------	----------
GMT	$02^h\ 16^m\ 43^s$	, 11 Jul.
ZN_2	$10^h\ 00^m\ 00^s$	+ Long E
----------	----------	----------
ZT_2	$12^h\ 16^m\ 43^s$	, 11 Jul.

مثال (11) : تم تسجيل وقت المنطقة ZT لزوال الشمس يوم 23 فبراير 2009 لراصد على خط طول E °052 فكان $ZT\ 11^h\ 45^m\ 23^s$ فكم تكون قيمة معادلة الوقت لهذا اليوم.

ZT_{Noon}	$11^h\ 45^m\ 23^s$	
ZN	03^h	- Long E
----------	----------	----------
GMT	$08^h\ 45^m\ 23^s$	
Long ÷15	$03^h\ 28^m\ 00^s$	+ Long E
----------	----------	----------
LMT	$12^h\ 13^m\ 23^s$	

LMT	$12^h\ 13^m\ 23^s$	
LAT_{Noon}	12^h	~
----------	----------	----------
Eq.T	$00^h\ 13^m\ 23^s$	(Eq.T -) MT > AT

مثال (12) : في وقت المنطقة $ZT\ 07^{h}\ 00^{m}$ من يوم 11 يوليو 2010 لراصد على خط طول 048° E ، إحسب قيمة الزاوية الساعية النجمية للشمس SHA إذا علمت أن وقت الظهر يحين في الساعة $11^{h}\ 53^{m}\ 00^{s}$ بالتوقيت المدني الموحد، وأن الوقت النجمي المحلي LST يساوي $02^{h}\ 27^{m}\ 52^{s}$.

ZT	$07^{h}\ 00^{m}\ 00^{s}$	, 11 Jul
Local Noon	$11^{h}\ 53^{m}\ 00^{s}$	~
LHA	$04^{h}\ 53^{m}\ 00^{s}$	
~	$24^{h}\ 00^{m}\ 00^{s}$	
LHA	$19^{h}\ 07^{m}\ 00^{s}$	

LHA	$19^{h}\ 07^{m}\ 00^{s}$	
LST	$02^{h}\ 27^{m}\ 52^{s}$	-
SHA	$16^{h}\ 39^{m}\ 08^{s}$	

مثال (13) : في وقت المنطقة $ZT\ 09^{h}\ 30^{m}\ 00^{s}$ من يوم 8 مارس2007 لراصد على خط طول $054^{\circ}\ 06'$ E ، إحسب قيمة المطلع المستقيم RA للشمس عند ذلك الوقت .

ZT	$09^{h}\ 30^{m}\ 03^{s}$	, 08 March
ZN	$04^{h}\ 00^{m}\ 00^{s}$	- Long E
GMT	$05^{h}\ 30^{m}\ 00^{s}$	, 08 March

سنة 2007 ثالث سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة البسيطة الثالثة) ونأخذ القيمة المقابلة لتاريخ 8 مارس.

$Eq.T = -\ 10^{m}\ \ 57^{s}$

GMT	$05^{h}\ 30^{m}\ 00^{s}$	, 08 March
Long	$03^{h}\ 36^{m}\ 24^{s}$	+ Long E
LMT	$09^{h}\ 06^{m}\ 24^{s}$	, 08 March

LMT	$09^h\ 06^m\ 24^s$	, 08 March
Eq.T	$00^h\ 10^m\ 57^s$	(Eq.T -) MT > AT

LAT	$08^h\ 55^m\ 27^s$
	± 12

LHA $20^h\ 55^m\ 27^s$

$$GST = GST_{2007} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 37^m\ 08^s + 0.0657098244 * 67 + 1.00273791 * 05^h\ 30^m\ 00^s$$

$$GST = 16^h\ 32^m\ 11.42^s$$

$$LST = GST + Long_{(E)}$$

$$LST = 16^h\ 32^m\ 11.42^s + (054^o\ 06' \div 15)$$

$$LST = 16^h\ 32^m\ 11.42^s + 03^h\ 36^m\ 24^s$$

$$LST = 20^h\ 08^m\ 35.42^s$$

LST	$20^h\ 08^m\ 35.4^s$	
LHA	$20^h\ 55^m\ 27^s$	-

RA $23^h\ 13^m\ 08.4^s$

مثال (14) : أوجد قيمة ميل الدائرة السماوية (الميل الكلي ε) لسنة 1991 .

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\,(\,Y - 2000\,)\,/\,3600]$$

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\,(\,1991 - 2000\,)\,/\,3600]$$

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [-\,0.001171'']$$

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 25.66''$$

مثال (15) : أحسب طول الشمس السماوي (λ) يوم 15 / 5 / 2012 .

سنة 2012 سنة كبسية، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة الكبيسة) ونأخذ القيمة المقابلة لتاريخ 15 مايو.

$Eq.T = 03^m \; 41^s$

GMT	$00^h \; 00^m \; 00^s$	
Eq.T	$00^h \; 03^m \; 41^s$	(Eq.T +) MT < AT
--		
GAT	$00^h \; 03^m \; 41^s$	
	± 12	
--		
GHA	$12^h \; 03^m \; 41^s$	

$GST = GST_{2012} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h \; 36^m \; 19^s + 0.0657098244 * 136 + 1.00273791 * 00^h \; 00^m \; 00^s$

$GST = 15^h \; 32^m \; 30.5^s$

GST	$15^h \; 32^m \; 30.5^s$
GHA	$12^h \; 03^m \; 41^s$
--	
RA	$03^h \; 28^m \; 49.5^s$
* 15	52° 12' 22.5''

$$\varepsilon = 23° \; 26' \; 21.448'' - [0.4684 \,(\,Y - 2000\,) / 3600]$$

$$\varepsilon = 23° \; 26' \; 21.448'' - [0.4684 \,(\,2012 - 2000\,) / 3600]$$

$$\varepsilon = 23° \; 26' \; 15.83''$$

$$Tan(\lambda) = \frac{\text{Tan(RA)}}{Cos(\varepsilon)}$$

$$Tan(\lambda) = \frac{\text{Tan}(52° 12' \; 22.5'')}{Cos(23° 26' \; 15.83'')}$$

$$\lambda = 54° 34' 03''$$

مثال (16) : أحسب طول الشمس السماوي (λ) يوم 2 / 2 / 1995.

سنة 1995 ثالث سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة البسيطة الثالثة) ونأخذ القيمة المقابلة لتاريخ 2 فبراير.

$Eq.T = -\ 13^m\ \ 35^s$

GMT	$00^h\ 00^m\ 00^s$	
Eq.T	$00^h\ 13^m\ 35^s$	(Eq.T -) MT > AT
GAT	$23^h\ 46^m\ 25^s$	
	± 12	
GHA	$11^h\ 46^m\ 25^s$	

$$GST = GST_{1995} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 36^m\ 46^s + 0.0657098244 * 33 + 1.00273791 * 00^h\ 00^m\ 00^s$$

$$GST = 08^h\ 46^m\ 52^s$$

GST	$08^h\ 46^m\ 52^s$
GHA	$11^h\ 46^m\ 35^s$
RA	$21^h\ 00^m\ 27^s$
* 15	$315^\circ\ 06'\ 45''$

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (\ Y - 2000\ )\ /\ 3600]$$

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (1995 - 2000\ )\ /\ 3600]$$

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 23.79''$$

$$Tan(\lambda) = \frac{\text{Tan(RA)}}{Cos(\varepsilon)}$$

$$Tan(\lambda) = \frac{\text{Tan}(315^\circ\ 06'\ 45'')}{Cos(23^\circ\ 26'\ 23.79'')}$$

$$\lambda = -47^\circ\ 21'\ 08'' \quad \sim 360^\circ \quad \rightarrow \quad \lambda = 312^\circ\ 38.9'$$

مثال (17) : أحسب ميل الشمس Dec يوم 18 / 1 / 2012 .

سنة 2012 سنة كبسية، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة الكبيسة) ونأخذ القيمة المقابلة لتاريخ 18 يناير.

$Eq.T = -10^m\ 03^s$

GMT	$00^h\ 00^m\ 00^s$	
Eq.T	$00^h\ 10^m\ 03^s$	(Eq.T -) MT > AT
GAT	$23^h\ 49^m\ 57^s$	
	± 12	
GHA	$11^h\ 49^m\ 57^s$	

$GST = GST_{2012} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h\ 36^m\ 19^s + 0.0657098244 * 18 + 1.00273791 * 00^h\ 00^m\ 00^s$

$GST = 07^h\ 47^m\ 17^s$

GST	$07^h\ 47^m\ 17^s$	
GHA	$11^h\ 49^m\ 57^s$	-
RA	$19^h\ 57^m\ 20^s$	
* 15	$299°\ 20'$	

$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (\ Y - 2000\ ) / 3600]$

$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (\ 2012 - 2000\ ) / 3600]$

$\varepsilon = 23°\ 26'\ 15.83''$

$Tan(Dec) = \text{Sin(RA)Tan}(\varepsilon)$

$Tan(Dec) = \text{Sin}(299°\ 20')\text{Tan}(23°\ 26'\ 15.83'')$

$Dec = 20°\ 42.2'\ S$

مثال (18) : أحسب ميل الشمس Dec يوم 4 / 9 / 1998 للساعة $20^h\ 30^m$ غرينتش.

سنة 1998 ثاني سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة البسيطة الثانية)، وبما أن الوقت المطلوب $20^h\ 30^m$ غرينتش نأخذ القيمة المقابلة لهذا الوقت بطريقة التعديل بين السطرين للقيمة المحصورة بين تاريخ 4 و5 سبتمبر، فنحصل على $Eq.T = 01^m\ 04^s$

GMT	$20^h\ 30^m\ 00^s$	
Eq.T	$00^h\ 01^m\ 04^s$	(Eq.T +) MT < AT
GAT	$20^h\ 31^m\ 04^s$	
±	12	
GHA	$08^h\ 31^m\ 04^s$	

$$GST = GST_{1998} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 37^m\ 50^s + 0.0657098244 * 247 + 1.00273791 * 20^h\ 30^m\ 00^s$$

$$GST = 19^h\ 25^m\ 01^s$$

GST	$19^h\ 25^m\ 01^s$	
GHA	$08^h\ 31^m\ 41^s$	-
RA	$10^h\ 53^m\ 57^s$	
* 15	163° 29' 15''	

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (Y - 2000) / 3600]$$

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (1998 - 2000) / 3600]$$

$$\varepsilon = 23°\ 26'\ 22.38''$$

$$Tan(Dec) = \mathrm{Sin(RA)Tan}(\varepsilon)$$

$$Tan(Dec) = \mathrm{Sin}(163°\ 29'\ 15'')\mathrm{Tan}(23°\ 26'\ 22.38'')$$

$$Dec = 07°\ 01'\ 30''\ N$$

مثال (19) : أحسب الإحداثيات الإستوائية (Dec & RA) للشمس يوم 2 / 10 / 1999

سنة 1999 ثالث سنة بسيطة تأتي بعد سنة كبيسة، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة البسيطة الثالثة) ونأخذ القيمة المقابلة لتاريخ 2 أكتوبر.

$Eq.T = 10^m\ 25^s$

GMT	$00^h\ 00^m\ 00^s$	
Eq.T	$00^h\ 10^m\ 25^s$	(Eq.T +) MT < AT

GAT	$00^h\ 10^m\ 25^s$
±	12

GHA $12^h\ 10^m\ 25^s$

$GST = GST_{1999} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h\ 36^m\ 52^s + 0.0657098244 * 275 + 1.00273791 * 00^h\ 00^m\ 00^s$

$GST = 00^h\ 41^m\ 05^s$

GST	$00^h\ 41^m\ 05^s$	
GHA	$12^h\ 10^m\ 25^s$	-

RA	$12^h\ 30^m\ 40^s$
* 15	187° 40'

$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (Y - 2000) / 3600]$

$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (1999 - 2000) / 3600]$

$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21.92''$

$Tan(Dec) = \mathrm{Sin(RA)Tan}(\varepsilon)$

$Tan(Dec) = \mathrm{Sin}(187°\ 40')\mathrm{Tan}(23°\ 26'\ 21.92'')$

$Tan(Dec) = -0.057840517$

$Dec = 03°\ 18'\ 37''\ S$

مثال (20) : أحسب الإحداثيات الافقية (Az & h) للشمس يوم 15 / 1 / 2009 الساعة $ZT\ 10^h\ 45^m$ بتوقيت دولة الكويت $29°\ 22'\ N\ \&\ 048°\ 00'\ E$.

ZT 10 h 45 m 00 s ,15 January
ZN 03 h -E

GMT 07 h 45 m 00 s , 15 January

سنة 2009 أول سنة بسيطة، وعليه ندخل في جدول (معادلة الوقت للسنة البسيطة الأولى)، وبما أن الوقت المطلوب $07^h\ 45^m$ غرينتش نأخذ القيمة المقابلة لهذا الوقت بطريقة التعديل بين السطرين للقيمة المحصورة بين تاريخ 15 و16 يناير، فنحصل على $Eq.T = -09^m\ 25^s$

GMT 07 h 45 m 00 s , 15 January
Eq.T 00 h 09 m 25 s (Eq.T -) MT > AT

GAT 07 h 35 m 35 s
± 12

GHA 19 h 35 m 35 s
Long ÷15 03 h 12 m 00 s +E

LHA 22 h 47 m 35 s
*15 341° 53' 45''

$GST = GST_{2009} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h\ 39^m\ 11^s + 0.0657098244 * 15 + 1.00273791 * 07^h\ 45^m\ 00^s$

$GST = 15^h\ 24^m\ 35^s$

GST 15 h 24 m 35 s
GHA 19 h 35 m 35 s -

RA 19 h 49 m 00 s
* 15 297° 15'

$$\varepsilon = 23° \ 26' \ 21.448'' - [0.4684\,(\,\mathrm{Y} - 2000\,)\,/\,3600]$$

$$\varepsilon = 23° \ 26' \ 21.448'' - [0.4684\,(\,2009 - 2000\,)\,/\,3600]$$

$$\varepsilon = 23° \ 26' \ 17.23''$$

$$Tan(Dec) = \mathrm{Sin(RA)Tan}(\varepsilon)$$

$$Tan(Dec) = \mathrm{Sin}(297°\,15')\mathrm{Tan}(23°\,26' \ 17.23'')$$

$$Tan(Dec) = -\,0.38541451$$

$$Dec = 21°\,04' \ 38''\,\mathrm{S}$$

$$Sin(h) = Sin(Dec)Sin(Lat) + Cos(Dec)Cos(Lat)Cos(LHA)$$

$$Sin(h) = Sin(-21°04'38'')Sin(29°22') + Cos(-21°04'38'')Cos(29°22')Cos(341°53'45'')$$

$$Sin(h) = (-0.176359391) + (0.772934342)$$

$$Sin(h) = 0.59657495$$

$$h = 36°\,37.5'$$

$$Cos(Az) = \frac{Sin(Dec) - Sin(Lat)Sin(h)}{Cos(Lat)Cos(h)}$$

$$Cos(Az) = \frac{Sin(-21°04'38'') - Sin(29°22')Sin(36°\,37.5')}{Cos(29°22')Cos(36°\,37.5')}$$

$$Cos(Az) = -0.93245392$$

$$Az = 158°49.2'$$

الفصـل السابـع

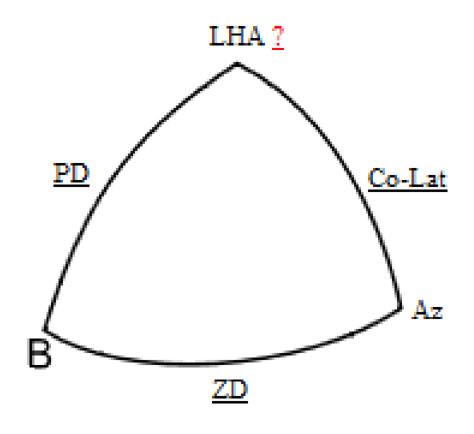
تطبيقات على المثلث الكروي

معرفة الوقت بدلالة الإرتفاع

لمعرفة الوقت الذي يكون فيه الجرم السماوي على إرتفاع معين من الافق، يستوجب ذلك أولاً حساب قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA حينما يكون الجرم عند هذا الإرتفاع، وذلك بمعلومية كل من ميل الجرم السماوي وعرض الراصد، فبعد حسابها إطرحها من وقت الزوال (وقت توسط الجرم)، إذا كان الإرتفاع المقصود قبل وقت الزوال أو أضفها عليه إذا كان بعده، فما يتبقى من ساعات يكون هو الوقت المطلوب حسابه، والمقصود هنا بالزاوية الساعية المحلية هي تلك الزاوية المقاسة عند القطب P والمحصورة بين خط الزوال العلوي للراصد، وخط الزوال المار بالجرم السماوي، قبل أو بعد لحظة المرور الزوالي .

ولا تتطلب المسألة في حالة الشمس أية تصحيح للزاوية الساعية، حيث أن المطلوب هو الوقت المتبقي للشمس حتى تبلغ خط زوال الراصد، أو الوقت الماضي منذ آخر مرور لها، بمعنى أن الزاوية P هي المطلوبة، بينما تقسم هذه الزاوية بعد تحويلها إلى وحدات زمنية على 1.00273791 في حالة النجوم، لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط .

وتحل هذه المسألة من خلال تطبيق قوانين المثلث الكروي (الحالة الأولى)، حيث أن الأضلاع الثلاثة للمثلث الكروي معلومة، والمطلوب أحد زواياه .



مثال (1) : إحسب وقت المنطقة ZT لراصد على خط عرض N '20 °29 حينما تكون الشمس على إرتفاع '31 °35 فوق الافق صباح يوم الجمعة 27 / 4 / 2012 إذا علمت أن ميل الشمس N '54.3 °13 ، ووقت زوال الشمس ZT 11 h 45 m 00 s .

البعد السمتي ZD	54° 29'
تمام العرض Co.Lat	60° 40'
البعد القطبي PD	76° 5.7'
الزاوية الساعية المحلية LHA	؟

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(54°29') - Cos(60°40')Cos(76°5.7')}{Sin(60°40')Sin(76°5.7')}$$

$$Cos(LHA) = 0.547380$$

$$LHA = 56° \; 48' \; 45''$$

LHA 56º 48' 45''
÷15 03 h 47 m 15 s

LHA 03 h 47 m 15 s

$ZT_{AT\ Noon}$ 11 h 45 m 00 s
LHA 03 h 47 m 15 s - قبل الزوال

ZT 07 h 57 m 45 s

<u>مثال (2)</u> : إحسب وقت المنطقة ZT لراصد على خط عرض 26° 14' N حينما تكون الشمس على إرتفاع 30.1' 26° فوق الافق الغربي يوم 27 / 2 / 2011 إذا علمت أن ميل الشمس في ذلك اليوم 08° 25.1' S ، ووقت الظهر $11^h\ 50^m\ 00^s$ ZT .

البعد السمتي	ZD	63° 29.9'
تمام العرض	Co.Lat	63° 46'
البعد القطبي	PD	98° 25.1'
الزاوية الساعية المحلية	LHA	؟

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(63°29.9') - Cos(63°46')Cos(98°25.1')}{Sin(63°46')Sin(98°25.1')}$$

$$Cos(LHA) = 0.575809$$

$$LHA = 54° \ 50' \ 37''$$

LHA	54° 50' 37''
÷15	$03^h\ 39^m\ 22^s$
--	
LHA	$03^h\ 39^m\ 22^s$

$ZT_{AT\ Noon}$	$11^h\ 50^m\ 00^s$		
LHA	$03^h\ 39^m\ 22^s$	+	بعد الزوال
--			
ZT	$15^h\ 29^m\ 22^s$		

مثال (3) : إحسب الوقت في مدينة الدمام خط عرض 26° 25' N حينما تكون الشمس على إرتفاع 12°- أسفل الافق الشرقي يوم 15 / 8 / 2009 إذا علمت أن قيمة ميل الشمس 14° 5.9' N ، ووقت زوال الشمس ZT 11 h 44 m 00 s .

البعد السمتي	ZD	102° 00'
تمام العرض	Co.Lat	63° 35'
البعد القطبي	PD	75° 54.1'
الزاوية الساعية المحلية	LHA	؟

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(102°00') - Cos(63°35')Cos(75°54.1')}{Sin(63°35')Sin(75°54.1')}$$

$$Cos(LHA) = -0.364126$$

$$LHA = 111^{o}\ 21'\ 14''$$

LHA 111° 21' 14''
÷15 07 h 25 m 25 s

LHA 07 h 25 m 25 s

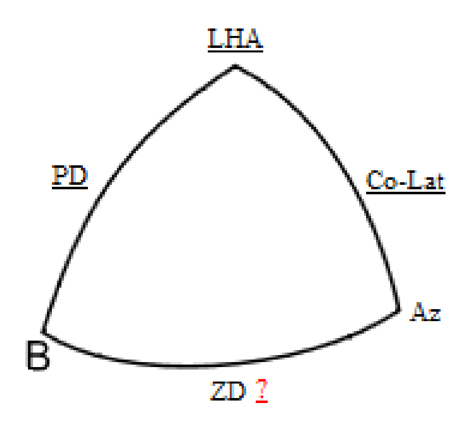
$ZT_{AT\ Noon}$ 11 h 44 m 00 s
LHA 07 h 25 m 25 s - قبل الزوال

ZT 04 h 18 m 35 s

معرفة الإرتفاع بدلالة الوقت

لتعيين إرتفاع الجرم السماوي بدلالة وقت المنطقة، يتطلب هذا أولاً حساب قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي، المحصورة بين الوقت المفروض ووقت الزوال (وقت التوسط) وتضرب هذه الزاوية بعد تحويلها إلى وحدات زاوية في 1.00273791 في حالة النجوم، لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط .

وتحل هذه المسألة من خلال تطبيق قوانين المثلث الكروي (الحالة الثانية)، حيث أن المعلوم هو ضلعين هما تمام العرض والبعد القطبي، وزاوية محصورة بينهما هي الزاوية الساعية المحلية، والمطلوب إيجاده هو الضلع الثالث والذي يمثل البعد السمتي، والذي منه نحصل على الأرتفاع.



مثال (4) : أوجد إرتفاع الشمس الساعة $08^h\ 28^m$ ZT صباح يوم 24 / 5 / 2007 لراصد على خط عرض 29° 20' N إذا علمت أن ميل الشمس 20° 42' N ، ووقت زوال الشمس $11^h\ 44^m\ 00^s$ ZT بالتوقيت المدني الموحد .

$ZT_{AT\ Noon}$	$11^h\ 44^m\ 00^s$	
ZT	$08^h\ 28^m\ 00^s$	~
LHA	$03^h\ 16^m\ 00^s$	* 15
	49° 00' 00"	

البعد السمتي	ZD	؟
تمام العرض	Co.Lat	60° 40'
البعد القطبي	PD	69° 18'
الزاوية الساعية المحلية	LHA	49° 00'

$$Cos(ZD) = Cos(Co.Lat)Cos(PD) + Sin(Co.Lat)Sin(PD)Cos(LHA)$$

$$Cos(ZD) = Cos(60°40')Cos(69°18') + Sin(60°40')Sin(69°18')Cos(49°00')$$

$$Cos(ZD) = 0.708183$$

$$ZD = 44°54.9' \qquad \sim 90°$$

$$h = 45°5.2'$$

مثال (5) : أوجد إرتفاع نجم النسر الواقع Vega الساعة $ZT\ 04^{h}\ 25^{m}$ من يوم الأحد 7 / 6 / 2015 لراصد على خط عرض 29° 15' N إذا علمت أن قيمة ميل النجم 38° 47.9' N ، ووقت عبوره خط زوال الراصد $01^{h}\ 24^{m}\ 54^{s}$ بالتوقيت المدني الموحد .

$ZT_{Transit}$	$01^{h}\ 24^{m}\ 54^{s}$	
ZT	$04^{h}\ 25^{m}\ 00^{s}$	~
LHA	$03^{h}\ 00^{m}\ 06^{s}$	* 15
	45º 01' 30"	* 1.00273791
LHA	45º 08' 54"	

البعد السمتي ZD	؟
تمام العرض Co.Lat	60° 45'
البعد القطبي PD	51° 12.1'
الزاوية الساعية المحلية LHA	45° 8.9'

$$Cos(ZD) = Cos(Co.Lat)Cos(PD) + Sin(Co.Lat)Sin(PD)Cos(LHA)$$

$$Cos(ZD) = Cos(60°45')Cos(51°12.1') + Sin(60°45')Sin(51°12.1')Cos(45°8.9')$$

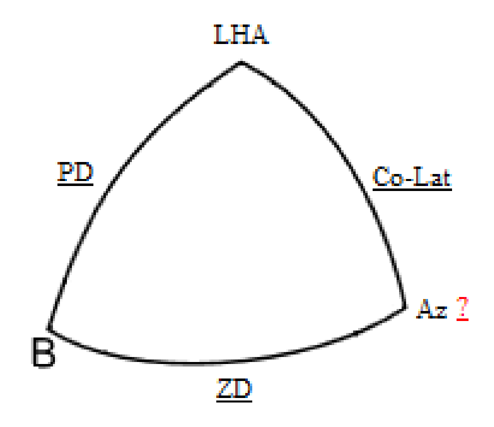
$$Cos(ZD) = 0.785737$$

$$ZD = 38°12.7' \qquad \sim 90°$$

$$h = 51°47.3'$$

معرفة الزاوية السمتية بدلالة الإرتفاع

الزاوية السمتية Az هي طول القوس على دائرة الافق، أو الزاوية عند السمت Z مقاسة من الدائرة الرأسية الرئيسية وحتى الدائرة الرأسية المارة بالجرم، ولحسابها بدلالة إرتفاع الجرم السماوي، وبمعلومية كل من ميل الجرم وخط عرض الراصد، فإننا نستخدم قوانين المثلث الكروي (الحالة الأولى)، حيث أن الأضلاع الثلاثة للمثلث الكروي معلومة، والمطلوب أحد زواياه .



<u>مثال (6)</u> : إحسب مقدار الزاوية السمتية للشمس يوم 28 / 5 / 2003 حين يبلغ إرتفاعها °60 فوق الأفق الشرقي لخط عرض 29° 20' N إذا علمت أن قيمة ميل الشمس في هذا اليوم يعادل 21° 24' N .

البعد السمتي ZD	30° 00'
تمام العرض Co.Lat	60° 40'
البعد القطبي PD	68° 36'
الزاوية السمتية Az	؟

$$Cos(Az) = \frac{Cos(PD) - Cos(ZD)Cos(Co.Lat)}{Sin(ZD)Sin(Co.Lat)}$$

$$Cos(Az) = \frac{Cos(68°36') - Cos(30°00')Cos(60°\,40')}{Sin(30°00')Sin(60°\,40')}$$

$$Cos(Az) = \frac{-0.05938015671}{0.4358922068}$$

$$Cos(Az) = -0.136227$$

$$Az = 97°49.8'$$

<u>مثال (7)</u> : أوجد مقدار الزاوية السمتية لكوكب المشتري يوم 13/ 6/ 2015 حين يبلغ إرتفاعه '50 °40 فوق الأفق الغربي لمدينة الدوحة خط عرض 25° 16' N إذا علمت أن قيمة ميل كوكب المشتري 16° 5.7' N.

البعد السمتي	ZD	49° 10'
تمام العرض	Co.Lat	64° 44'
البعد القطبي	PD	73° 54.3'
الزاوية السمتية	Az	؟

$$Cos(Az) = \frac{Cos(PD) - Cos(ZD)Cos(Co.Lat)}{Sin(ZD)Sin(Co.Lat)}$$

$$Cos(Az) = \frac{Cos(73°54.3') - Cos(49°10')Cos(64°\ 44')}{Sin(49°10')Sin(64°\ 44')}$$

$$Cos(Az) = \frac{-0.001857826}{0.6842302209}$$

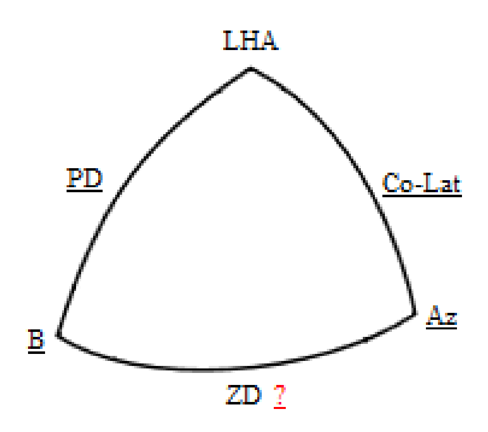
$$Cos(Az) = -0.002715$$

$Az = 90°9.3'$ $\sim 360^{\circ}$

$$Az = 269°50.7'$$

معرفة الإرتفاع بدلالة الزاوية السمتية

لمعرفة مقدار إرتفاع الجرم السماوي برصد زاويته السمتية، وبمعلومية كل من ميل الجرم وخط عرض الراصد، فإننا نستخدم قوانين المثلث الكروي (الحالة الثالثة)، حيث يكون معلوم لدينا ضلعين من أضلاع المثلث هما البعد القطبي وتمام عرض الراصد، والزاوية المقابلة لأحدهما وهي الزاوية السمتية، التي تم الحصول عليها بالرصد الفلكي، فنستخدم قانون الجيب أولاً لاستخراج الزاوية المقابلة الأخرى، والتي هي الزاوية عند الجرم السماوي (الزاوية B)، ومن ثم ننتقل إلى (الحالة السابعة) من حالات المثلث الكروي لإيجاد الضلع الثالث المطلوب، وهو البعد السمتي باستخدام معادلات نابير.



ويجدر الذكر بأن الجرم السماوي يبلغ الإرتفاع ذاته مرتين في اليوم، حيث يصل إلى إرتفاع معين قبل عبوره خط زوال الراصد، ثم يعود ليبلغة ثانية بعد عبوره، والأمر متشابه بالنسبة لزاويته السمتية، فهو يبلغ إتجاه معين قبل العبور الزوالي، ثم يعود بعد أن يتجاوز خط الزوال ليبغ تمام هذا الإتجاه (360-Az) .

مثال (8) : أوجد مقدار إرتفاع h الشمس حين يكون إتجاهها °100 بعد الشروق على خط عرض N '14 ° 31 إذا علمت أن ميل الشمس N '38 °06 .

تمام العرض Co.Lat	58° 46'
البعد القطبي PD	83° 22'
الزاوية السمتية Az	100° 00'
البعد السمتي ZD	؟

$$Sin(B)=\frac{Sin(Co.Lat)Sin(Az)}{Sin(PD)}$$

$$Sin(B)=\frac{Sin(58°46')Sin(100°)}{Sin(83°22')}$$

$$B=57°58'$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{B+Az}{2}\right)Sin\left(\frac{Co.Lat+PD}{2}\right)}{Cos\left(\frac{B-Az}{2}\right)Cos\left(\frac{Co.Lat+PD}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{57°58'+100°00'}{2}\right)Sin\left(\frac{58°46'+83°22'}{2}\right)}{Cos\left(\frac{57°58'-100°00'}{2}\right)Cos\left(\frac{58°46'+83°22'}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=\frac{Cos(78°59')Sin(71°04')}{Cos(-21°01')Cos(71°04')}$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right) = 0.596784$$

$$\left(\frac{ZD}{2}\right) = 30°49.7'$$

$$ZD = 61°39.4' \qquad \sim 90°$$

$$h = 28°20.6'$$

مثال (9) : أوجد مقدار إرتفاع نجم السماك الرامح Arcturus عن الأفق الغربي حين يكون إتجاهه Az 280° على خط عرض N '15 °29 إذا علمت أن ميل النجم N '6.5 °19 .

تمام العرض Co.Lat	60° 45'	
البعد القطبي PD	70° 53.5'	
الزاوية السمتية Az	280° 00'	80° 00'
البعد السمتي ZD	؟	

$$Sin(B) = \frac{Sin(Co.Lat)Sin(Az)}{Sin(PD)}$$

$$Sin(B) = \frac{Sin(60°45')Sin(80°00')}{Sin(70°53.5')}$$

$$B = 65°24.9'$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{B+Az}{2}\right)Sin\left(\frac{Co.Lat+PD}{2}\right)}{Cos\left(\frac{B-Az}{2}\right)Cos\left(\frac{Co.Lat+PD}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=\frac{Cos\left(\frac{65°24.9'+80°00'}{2}\right)Sin\left(\frac{60°45'+70°53.5'}{2}\right)}{Cos\left(\frac{65°24.9'-80°00'}{2}\right)Cos\left(\frac{60°45'+70°53.5'}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=\frac{Cos(72°42.5')Sin(65°49.2')}{Cos(-07°17.5')Cos(65°49.2')}$$

$$Tan\left(\frac{ZD}{2}\right)=0.667395$$

$$\left(\frac{ZD}{2}\right)=33°43.1'$$

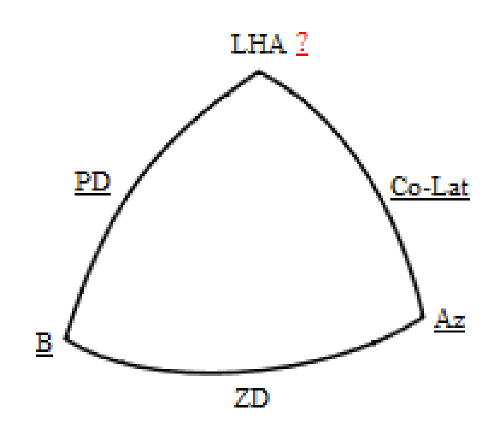
$ZD=67°26.2'$ ~ 90°

$h=22°33.8'$

معرفة الوقت بدلالة الزاوية السمتية

يمكن تعيين الوقت من خلال رصد إتجاه الجرم السماوي، وبمعلومية كل من ميل الجرم وخط عرض الراصد، فإننا نستخدم قوانين المثلث الكروي (الحالة الثالثة)، حيث يكون معلوم لدينا ضلعين من أضلاع المثلث وهما البعد القطبي وتمام عرض الراصد، والزاوية المقابلة لآحدهما وهي الزاوية السمتية، التي تم الحصول عليها بالرصد الفلكي، فنستخدم أولاً قانون الجيب لاستخراج الزاوية المقابلة الأخرى، والتي هي الزاوية عند الجرم السماوي (الزاوية B)، ومن ثم ننتقل إلى (الحالة السابعة) من حالات المثلث الكروي لايجاد الزاوية الثالثة المطلوبة، وهي الزاوية الساعية المحلية باستخدام معادلات نابير.

وأخيراً نعيّن الوقت المطلوب بعد طرح الزاوية الساعية أو إضافتها على وقت الزوال بحسب إتجاه الجرم السماوي، والذي يدلنا على موضعه في السماء، حيث إن كان جهة الشرق أي قبل الزوال تطرح الزاوية الساعية المحلية من وقت الزوال، وإن كان جهة الغرب أي بعد الزوال تضاف عليه للحصول على الوقت المطلوب.



مثال (10) : أوجد الوقت المدني الموحد ZT في المنامة الواقعة على خط عرض 26° 14' N يوم 22 / 11 / 2001 حين كانت الزاوية السمتية للشمس تعادل 122° إذا علمت أن ميل الشمس 20° 08.3' S ، ووقت الظهر في هذا اليوم $11^h\ 24^m\ 00^s$ ZT .

تمام العرض Co.Lat	63° 46'
البعد القطبي PD	110° 8.3'
الزاوية السمتية Az	122° 00'
الزاوية الساعية المحلية LHA	؟

$$Sin(B) = \frac{Sin(Co.Lat)Sin(Az)}{Sin(PD)}$$

$$Sin(B) = \frac{Sin(63°46')Sin(122°00')}{Sin(110°8.3')}$$

$$B = 54°07.1'$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{B + Az}{2}\right)Cos\left(\frac{Co.Lat - PD}{2}\right)}{Sin\left(\frac{B + Az}{2}\right)Cos\left(\frac{Co.Lat + PD}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{54°07.1'+122°00'}{2}\right)Cos\left(\frac{63°46'-110°08.3}{2}\right)}{Sin\left(\frac{54°07.1'+122°00'}{2}\right)Cos\left(\frac{63°46'+110°08.3'}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right)=\frac{Cos(88°3.5')Cos(-23°11.1')}{Sin(88°3.5')Cos(86°57.1)}$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right)=0.585924$$

$$\left(\frac{LHA}{2}\right)=30°22'$$

$LHA=60°44'$ $/15^{o}$

$LHA=$ $04^{h}\ 02^{m}\ 56^{s}$

بعد إستخراج الزاوية الساعية المحلية LHA التي تعبر عن الوقت المتبقي للشمس حتى تبلغ خط الزوال المحلي لمدينة المنامة ، أو الوقت الماضي منذ آخر مرور لها ، وبما أن إتجاه الشمس $122°$ وهو جنوب شرقي ، يتبين للراصد بأن الشمس لم تبلغ خط الزوال المحلي بعد ، وبالتالي تعبّر الزاوية الساعية المحلية في هذه الحالة عن الوقت المتبقي للشمس حتى تبلغ خط الزوال ، وعليه تطرح من وقت الظهر للحصول على وقت المنطقة المطلوب لاتجاه الشمس المفروض في المسألة .

$ZT_{AT\ Noon}$ $11^{h}\ 24^{m}\ 00^{s}$
LHA $04^{h}\ 02^{m}\ 56^{s}$ - قبل الزوال

ZT $07^{h}\ 21^{m}\ 04^{s}$

مثال (11) : تم رصد إتجاه نجم منكب الجوزاء Betelgeuse يوم 12 / 4 / 2012 من مدينة الإسكندرية الواقعة على خط عرض 31°14' N فكان إتجاهه 255° 26' . إذا علمت أن قيمة ميل النجم هو 07° 24.5' N ، ووقت الزوال للنجم $16^{h}\ 30^{m}\ 37^{s}$ بالتوقيت المدني الموحد ZT ففي أي ساعة تم الرصد ؟

تمام العرض Co.Lat	58° 46'	
البعد القطبي PD	82° 35.5'	
الزاوية السمتية Az	255° 26'	104° 34'
الزاوية الساعية المحلية LHA	؟	

$$Sin(B) = \frac{Sin(Co.Lat)Sin(Az)}{Sin(PD)}$$

$$Sin(B) = \frac{Sin(58°46')Sin(104°34')}{Sin(82°35.5')}$$

$$B = 56°34.1'$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{B+Az}{2}\right)Cos\left(\frac{Co.Lat-PD}{2}\right)}{Sin\left(\frac{B+Az}{2}\right)Cos\left(\frac{Co.Lat+PD}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{56°34.1'+104°34'}{2}\right)Cos\left(\frac{58°46'-82°35.5'}{2}\right)}{Sin\left(\frac{56°34.1'+104°34'}{2}\right)Cos\left(\frac{58°46'+82°35.5'}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right)=\frac{Cos(80°34')Cos(-11°54.9')}{Sin(80°34')Cos(70°40.9)}$$

$$Tan\left(\frac{LHA}{2}\right)=0.491412$$

$$\left(\frac{LHA}{2}\right)=26°10.2'$$

$$LHA=52°20.4' \qquad /15°$$

$$LHA= \quad 03^{h}\ \ 29^{m}\ 22^{S}$$

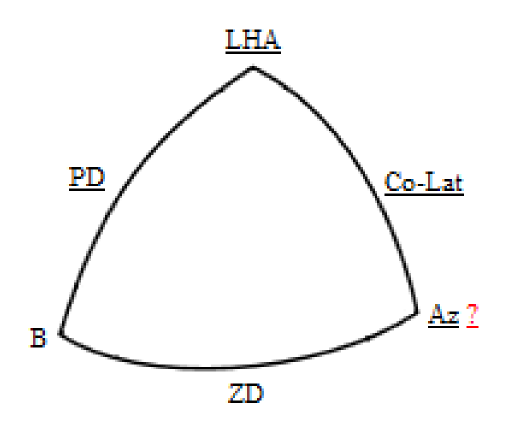
بعد إستخراج الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم نقسمها على 1.00273791 لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط ، وبما أن إتجاه النجم '26 °255 وهو جنوب غربي ، يتبين للراصد بأن النجم قد بلغ وتجاوز خط الزوال المحلي ، وبالتالي تعبر الزاوية الساعية المحلية في هذه الحالة عن الوقت الماضي للنجم منذ آخر مرور زوالي له ، وعليه يضاف على وقت توسطه للحصول على وقت المنطقة المطلوب في المسألة .

LHA	$03^{h}\ 29^{m}\ 22^{s}$		
÷	1.00273791		
LHA	$03^{h}\ 28^{m}\ 47^{s}$		

$ZT_{Transit}$	$16^{h}\ 30^{m}\ 37^{s}$		
LHA	$03^{h}\ 28^{m}\ 47^{s}$	+	بعد الزوال
ZT	$19^{h}\ 59^{m}\ 24^{s}$		

معرفة الزاوية السمتية بدلالة الوقت

يمكن تعيين الزاوية السمتية للجرم السماوي بدلالة الوقت، باستخراج الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم، وذلك بحساب فرق الساعات بين وقت الزوال والوقت المفروض، وبمعلومية كل من ميل الجرم وخط عرض الراصد، يكون لدينا ضلعين وزاوية محصورة بينهما، فنستخدم قانون المثلث الكروي (الحالة الثانية) لإيجاد الضلع الثالث وهو البعد السمتي، لتصبح أضلاع المثلث معلومة، ومن ثم ننتقل لتطبيق قانون المثلث الكروي (الحالة الأولى) لإيجاد الزاوية المطلوبة، وهي الزاوية السمتية .



<u>مثال (12)</u> : أوجد إتجاه الشمس الساعة $14^{h}\ 49^{m}$ ZT بعد زوال يوم 12 / 5 / 2012 في مدينة القاهرة خط عرض 30° 03' N إذا علمت أن ميل الشمس 18° 18.3' N ، ووقت زوال الشمس في ذلك اليوم $12^{h}\ 51^{m}$ بالتوقيت المدني الموحد .

تمام العرض Co.Lat	59° 57'
البعد القطبي PD	71° 41.7'
الزاوية الساعية المحلية LHA	؟

$ZT_{AT\ Noon}$	$12^{h}\ 51^{m}\ 00^{s}$	
ZT	$14^{h}\ 49^{m}\ 00^{s}$	~
LHA	$01^{h}\ 58^{m}\ 00^{s}$	* 15
	$29^{\circ}\ 30'\ 00''$	بعد الزوال

$$Cos(ZD) = Cos(Co.Lat)Cos(PD) + Sin(Co.Lat)Sin(PD)Cos(LHA)$$

$$Cos(ZD) = Cos(59°57')Cos(71°41.7') + Sin(59°57')Sin(71°41.7')Cos(29°30')$$

$$Cos(ZD) = 0.872523$$

$$ZD = 29°14.8'$$

$$Cos(Az) = \frac{Cos(PD) - Cos(ZD)Cos(Co.Lat)}{Sin(ZD)Sin(Co.Lat)}$$

$$Cos(Az) = \frac{Cos(71°41.7') - Cos(29°14.8')Cos(59°57')}{Sin(29°14.8')Sin(59°57')}$$

$$Cos(Az) = \frac{-0.1228461523}{0.4229011078}$$

$$Cos(Az) = -0.290484$$

$Az = 106°53.2'$ ~ 360°

$$Az = 253°6.8'$$

مثال (13) : أوجد الزاوية السمتية لنجم السماك الأعزل Spica الساعة ZT 23 ^{h} 18 ^{m} من يوم 6 / 6 / 2015 في الكويت خط عرض N '15 °29 إذا علمت أن قيمة ميل النجم تعادل S '14.2 °11 ، ووقت عبورة خط الزوال في ذلك اليوم 20 ^{h} 14 ^{m} بالتوقيت المدني.

تمام العرض Co.Lat	60° 45'
البعد القطبي PD	101° 14.2'
الزاوية الساعية المحلية LHA	؟

$ZT_{Transit}$	20 ^{h} 14 ^{m} 00 ^{s}	
ZT	23 ^{h} 18 ^{m} 00 ^{s}	~
LHA	03 ^{h} 04 ^{m} 00 ^{s}	* 15
	46º 00' 00"	بعد الزوال
*	1.00273791	
	46º 07' 33"	

$$Cos(ZD) = Cos(Co.Lat)Cos(PD) + Sin(Co.Lat)Sin(PD)Cos(LHA)$$

$$Cos(ZD) = Cos(60°45')Cos(101°14.2') + Sin(60°45')Sin(101°14.2')Cos(46°7.5')$$

$$ZD = 60°8.3'$$

$$Cos(Az) = \frac{Cos(PD) - Cos(ZD)Cos(Co.Lat)}{Sin(ZD)Sin(Co.Lat)}$$

$$Cos(Az) = \frac{Cos(101°14.2') - Cos(60°8.3')Cos(60°45')}{Sin(60°8.3')Sin(60°45')}$$

$$Cos(Az) = \frac{-0.4381503254}{0.7566547685}$$

$$Az = 125°23.1' \qquad \sim 360°$$

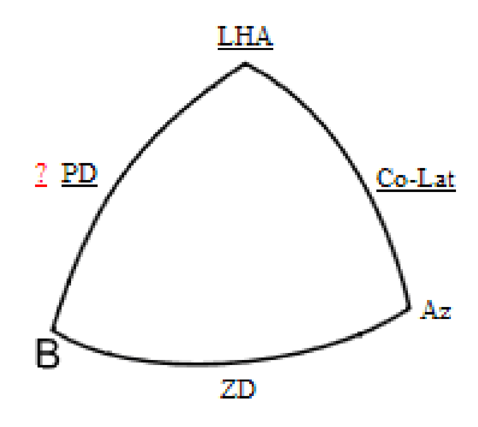
$$Az = 234°36.9'$$

معرفة الميل بدلالة الإرتفاع

لتعيين ميل الجرم السماوي بدلالة إرتفاعه عن الأفق، يتطلب هذا أولاً حساب قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي، المحصورة بين الوقت المفروض ووقت الزوال (وقت توسط الجرم)، فبعد حسابها يكون المعلوم من عناصر المثلث الكروي ضلعين هما تمام العرض والبعد السمتي، وزاوية مقابلة لأحدهما وهي الزاوية الساعية المحلية.

تضرب الزاوية الساعية بعد إستخراجها وتحويلها إلى وحدات زاوية في 1.00273791 في حالة النجوم، لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط .

وتحل هذه المسألة من خلال تطبيق قوانين المثلث الكروي (الحالة الثالثة) قانون الجيب، لاستخراج الزاوية المقابلة الأخرى، والتي هي الزاوية عند الجرم السماوي (الزاوية B)، ومن ثم ننتقل إلى (الحالة السابعة) من حالات المثلث الكروي، لإيجاد الضلع الثالث وهو البعد القطبي، والذي منه نحصل على الميل المطلوب .



<u>مثال (14)</u> : في وقت المنطقة $ZT\ 18^h\ 40^m\ 02^s$ من يوم 30 / 5 / 2015 لراصد على خط عرض $26°\ 33.7'$ N تم رصد إرتفاع كوكب الزهرة عند الأفق الغربي فكان إرتفاعه يساوي $39°\ 25'$ إحسب ميل الكوكب إذا علمت أن وقت توسطه $ZT\ 14^h\ 54^m\ 47^s$

$ZT_{Transit}$	$14^h\ 54^m\ 47^s$	
ZT	$18^h\ 40^m\ 02^s$	~
--		
LHA	$03^h\ 45^m\ 15^s$	* 15
LHA	56º 18' 45''	

البعد القطبي PD	؟
تمام العرض Co.Lat	63° 26.3'
البعد السمتي ZD	50° 35'
الزاوية الساعية المحلية LHA	56° 18.8'

$$Sin(B) = \frac{Sin(Co.Lat)Sin(LHA)}{Sin(ZD)}$$

$$Sin(B) = \frac{Sin(63°26.3')Sin(56°18.8')}{Sin(50°35')}$$

$$B = 74°26.8'$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{LHA + B}{2}\right)Sin\left(\frac{ZD + Co.Lat}{2}\right)}{Cos\left(\frac{LHA - B}{2}\right)Cos\left(\frac{ZD + Co.Lat}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{56°15'+74°26.8'}{2}\right)Sin\left(\frac{50°35'+63°26.3'}{2}\right)}{Cos\left(\frac{56°15'-74°26.8'}{2}\right)Cos\left(\frac{50°35'+63°26.3'}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = \frac{Cos(65°20.9')Sin(57°0.7')}{Cos(-09°5.9')Cos(57°0.7')}$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = 0.650752$$

$$\left(\frac{PD}{2}\right) = 33°03.2'$$

$PD = 66°06.5'$ ~ *90°*

$Dec = 23°53.5'$

مثال (15) : في وقت المنطقة $ZT\ 08^h\ 59^m\ 47^s$ من يوم 30 / 3 / 2015 لراصد على خط عرض $29^\circ\ 15'\ N$ تم رصد إرتفاع الشمس عند الأفق الشرقي فكان إرتفاعها يساوي $41^\circ\ 44.1'$ إحسب ميل الشمس إذا علمت أن وقت الظهر $ZT\ 11^h\ 52^m\ 44^s$

$ZT_{AT\ Noon}$	$11^h\ 52^m\ 44^s$	
ZT	$08^h\ 59^m\ 47^s$	~
LHA	$02^h\ 52^m\ 57^s$	* 15
LHA	43º 14' 15''	

البعد القطبي PD	؟
تمام العرض Co.Lat	60° 45'
البعد السمتي ZD	48° 15.9'
الزاوية الساعية المحلية LHA	43° 14.3'

$$Sin(B) = \frac{Sin(Co.Lat)Sin(LHA)}{Sin(ZD)}$$

$$Sin(B) = \frac{Sin(60°45')Sin(43°14.3')}{Sin(48°15.9')}$$

$$B = 53°13.2'$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{LHA + B}{2}\right)Sin\left(\frac{ZD + Co.Lat}{2}\right)}{Cos\left(\frac{LHA - B}{2}\right)Cos\left(\frac{ZD + Co.Lat}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = \frac{Cos\left(\frac{43°14.3'+53°13.2'}{2}\right)Sin\left(\frac{48°15.9'+60°45'}{2}\right)}{Cos\left(\frac{43°14.3'-53°13.2'}{2}\right)Cos\left(\frac{48°15.9'+60°45'}{2}\right)}$$

$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = \frac{Cos(48°13.7')Sin(54°30.5')}{Cos(-04°59.3')Cos(54°30.5')}$$

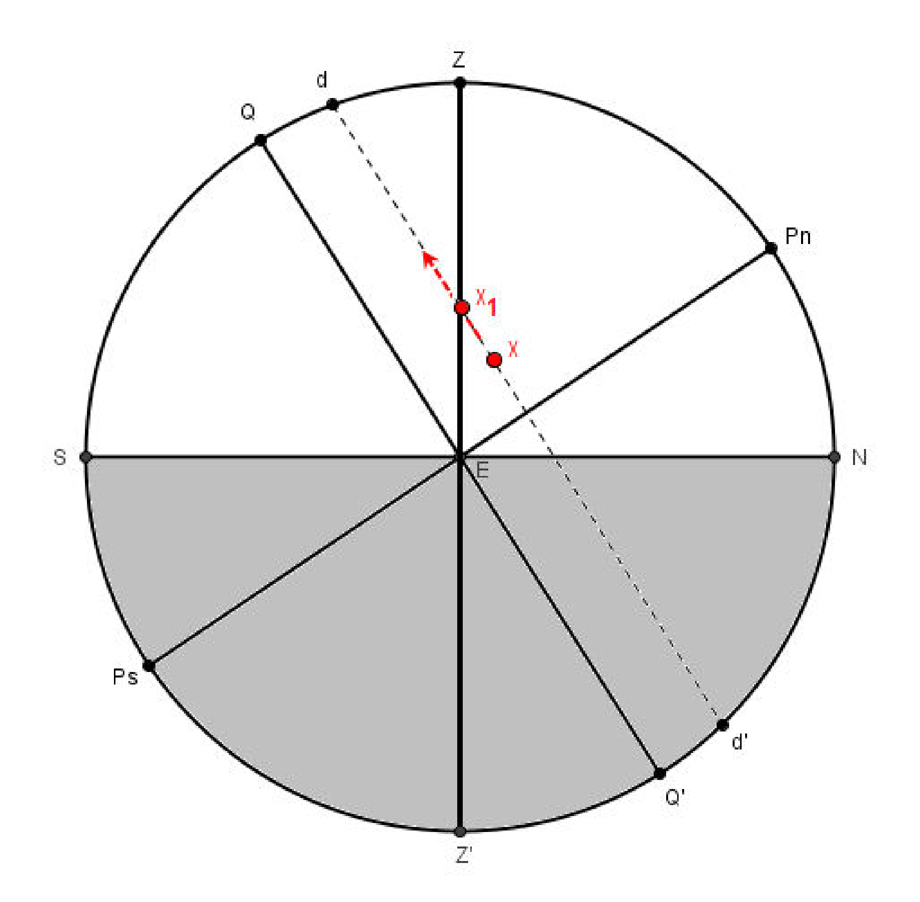
$$Tan\left(\frac{PD}{2}\right) = 0.937766$$

$$\left(\frac{PD}{2}\right) = 43°09.6'$$

$PD = 86°19.2'$ ~ 90°

$Dec = 03°40.8'$

معرفة إرتفاع الجرم السماوي لحظة عبوره الدائرة الرأسية الاولى



لتعيين إرتفاع الجرم السماوي عندما يكون على الدائرة الرأسية الاولى، لابد أولاً من التحقق فيما إذا كانت الجرم خلال حركته الظاهرية في اليوم المفروض سيحقق الشرط المطلوب لحصول ذلك، وهو أن يكون الميل أصغر من العرض وبنفس الإشارة، فإن كان كذلك نستخرج الإرتفاع عند تلك اللحظة، ولابد أن ننوه هنا بأن الجرم السماوي يقطع الدائرة الرأسية الاولى إذا حقق الشرط المطلوب مرتين في اليوم، وذلك قبل مروره الزوالي حين تكون زاويته السمتية $Az\ \ 090^{\circ}$، والثانية بعد مروره حين تكون زاويته السمتية $Az\ 270^{\circ}$.

$$Sin(h) = \frac{Sin(Dec)}{Sin(Lat)}$$

مثال (16) : أوجد مقدار إرتفاع h الشمس لحظة عبورها الدائرة الرأسية الاولى بعد شروقها على مدينة الإسكندرية خط عرض 31° 14' N يوم 18 / 8 / 2010 إذا علمت أن ميل الشمس في ذلك اليوم 13° 7.2' N

$$Sin(h) = \frac{Sin(Dec)}{Sin(Lat)}$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(13°7.2')}{Sin(31°14')}$$

$$h = 25°57.7'$$

مثال (17) : أوجد مقدار إرتفاع h ،والزاوية الساعية المحلية LHA للشمس لحظة عبورها الدائرة الرأسية الاولى بعد زوال يوم 2015/6/15 في بغداد خط عرض 33° 45.5' N إذا علمت أن ميل الشمس في ذلك اليوم 23° 18.2' N

$$Cos(LHA) = \frac{Tan(Dec)}{Tan(Lat)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Tan(23°18.2')}{Tan(33°45.5')}$$

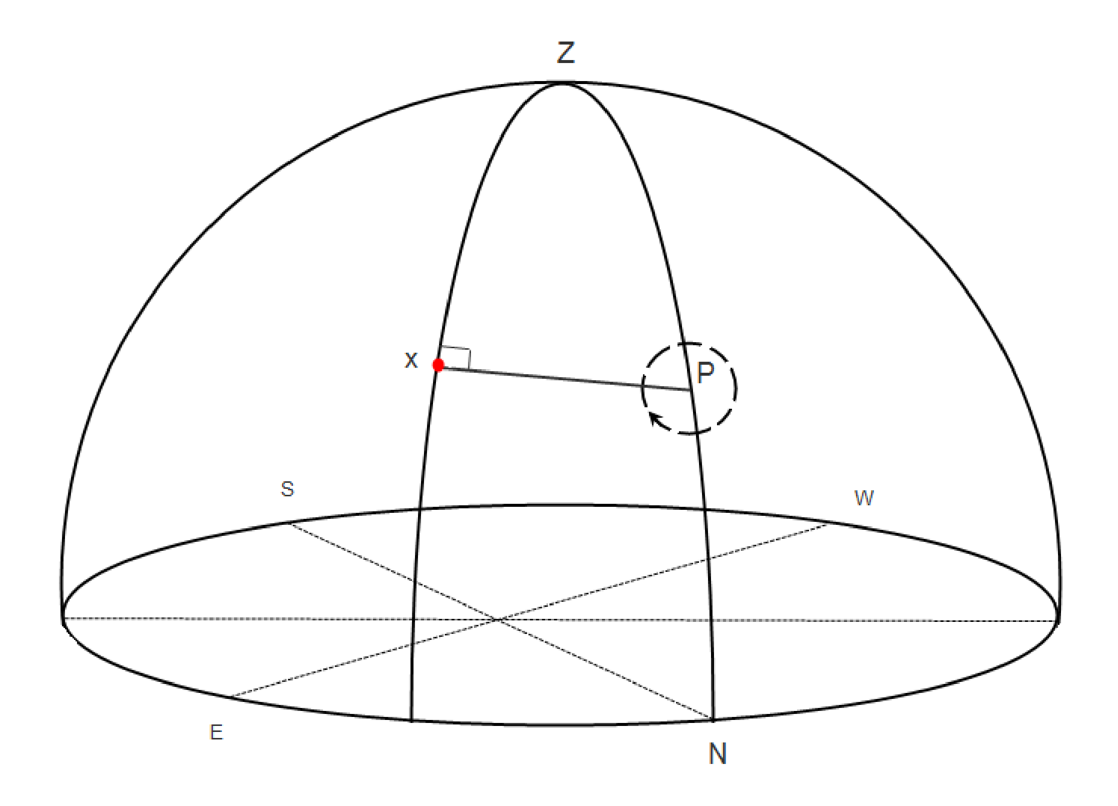
$$LHA = 49°52.6'$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(Dec)}{Sin(Lat)}$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(23°18.2')}{Sin(33°45.5')}$$

$$h = 45°23.4'$$

معرفة وقت الإستطالة العظمى للجرم السماوي



لتعيين وقت الإستطالة العظمى للجرم السماوي، وهو الوقت الذي يصل عنده الجرم إلى أقصى زاوية سمتية ممكنة، لابد أولاً من التحقق فيما إذا كان الجرم السماوي سيحقق الشرط المطلوب لحصول ذلك، وهو أن يكون الميل أكبر من العرض وبنفس الإشارة، فإن كان كذلك نستخرج أولاً الإرتفاع عند تلك اللحظة من خلال المعادلة التالية :

$$Sin(h) = \frac{Sin(Lat)}{Sin(Dec)}$$

ثم نحسب وقت حدوث ذلك الإرتفاع بطريقة معرفة الوقت بدلالة الإرتفاع، حيث يتم إيجاد الزاوية الساعية عند القطب P، والتي تقسم بعد تحويلها إلى وحدات زمنية على 1.00273791 في حالة النجوم، لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط، ومع معرفة وقت عبور الجرم السماوي لخط زوال الراصد، يمكننا إيجاد الوقت المطلوب.

مثال (18) : أوجد وقت حدوث الإستطالة الشرقية العظمى لنجم الكف الخضيب Caph ذو ميل N '13.8 °59 بالنسبة لراصد على خط عرض N '15 °29 يوم 1 / 8 / 2014 إذا علمت أن وقت زوال النجم $03^h\ 15^m\ 05^s$ بالتوقيت المدني الموحد ZT من اليوم التالي ، ثم أوجد مقدار هذه الإستطالة .

$$Sin(h) = \frac{Sin(Lat)}{Sin(Dec)}$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(29°15')}{Sin(59°13.8')}$$

$$Sin(h) = 0.568675$$

$$h = 34°39.5'$$

البعد السمتي	ZD	55° 20.5'
تمام العرض	Co.Lat	60° 45'
البعد القطبي	PD	30° 46.2'
الزاوية الساعية المحلية	LHA	؟

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(55°20.5') - Cos(60°45')Cos(30°46.2')}{Sin(60°45')Sin(30°46.2')}$$

$$Cos(LHA) = 0.333461$$

$LHA = 70° \ 31' \ 15''$ $/15°$

$LHA = 04^h \ 42^m \ 05^s$

LHA	$04^h \ 42^m \ 05^s$	
÷	1.00273791	
LHA	$04^h \ 41^m \ 18^s$	

$ZT_{Transit}$	$03^h \ 15^m \ 05^s$ $+24^h$	, 2Aug	
LHA	$04^h \ 41^m \ 18^s$	-	قبل الزوال
ZT	$22^h \ 33^m \ 47^s$	, 1Aug	

$$Sin(Az) = \frac{Cos(Dec)}{Cos(Lat)}$$

$$Sin(Az) = \frac{Cos(59°13.8')}{Cos(29°15')}$$

$$Sin(Az) = 0.586356$$

$$Az = 35°53.9'$$

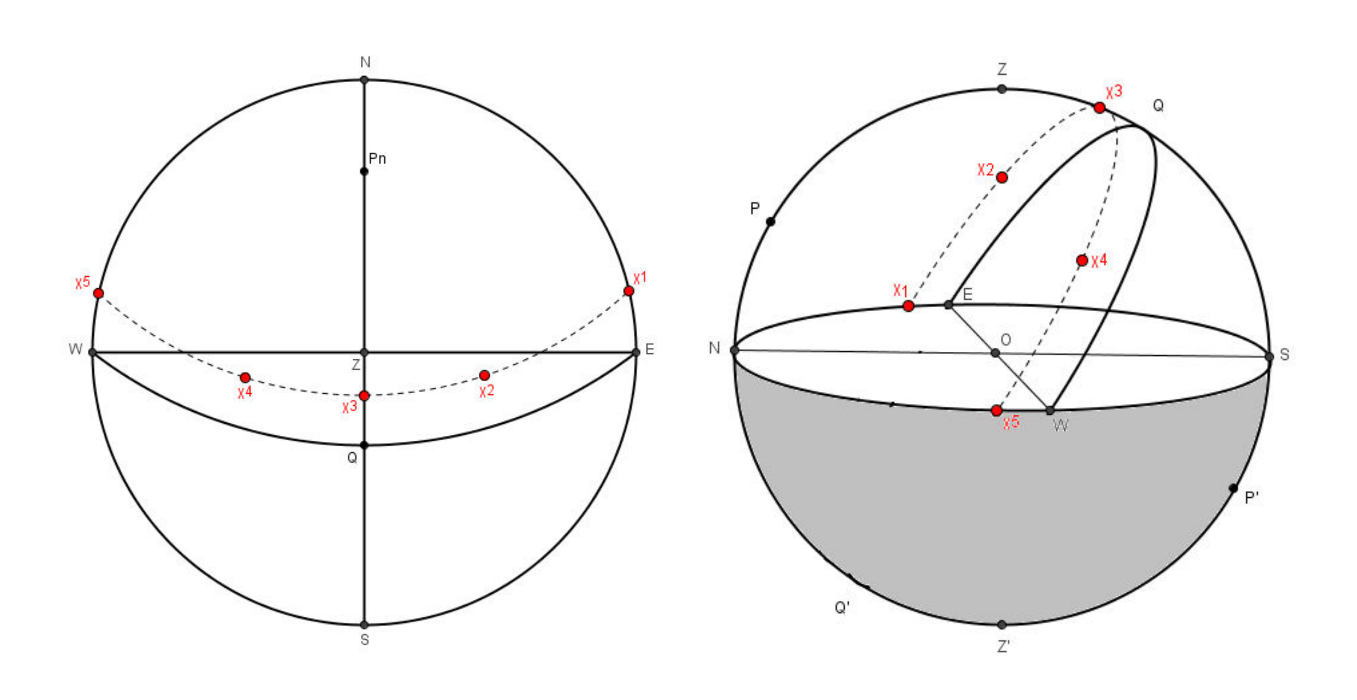
الفصل الثامن

الشروق والغروب والتوسط

التوسط *Transit*

نتيجة لدوران الأرض حول محورها مرة كل يوم ، فإن الأجرام السماوية وأثناء حركتها الظاهرية اليومية من الشرق إلى الغرب تعبر خط زوال الراصد ، وعندما يكون مركز الجرم السماوي على خط زوال الراصد ، يقال أن الجرم في وضع التوسط ، حيث يكون قد توسط قوس حركته ما بين شروقه وغروبه ، ويكون حينها تماماً باتجاه الشمال أو الجنوب ، كما يتزامن ذلك مع بلوغ الجرم السماوي أقصى إرتفاع له بالنسبة إلى نفس الراصد .

ويحدث العبور الزوالي أو التوسط لجميع الأجرام السماوية دون إستثناء ، حتى بالنسبة لتلك الأجرام التي لا تكون ظاهرة فوق الأفق ، حيث لابد لها من عبور خط زوال الراصد أثناء حركتها الظاهرية اليومية ، فقد يحدث التوسط فوق الأفق أو أسفله ، بحسب قيمة وجهة كل من ميل الجرم السماوي ودرجة عرض الراصد .



عندما يتوسط الجرم السماوي لخط زوال الراصد ، فإن قيمة زاويته الساعية المحلية LHA تنعدم ، وبالتالي يتساوى مطلعه المستقيم RA مع قيمة الوقت النجمي المحلي LST ، ومن ذلك يمكن حساب وقت التوسط من خلال العلاقة التالية :

$$LHA = LST - RA$$

من خلال العلاقة السابقة يمكننا معرفة الزاوية المحصورة عند القطب P بين خط زوال الراصد وخط الزوال المار بالجرم السماوي، وبتحويلها إلى وحدات زمنية يمكن معرفة الوقت المتبقي لعبور الجرم السماوي لخط زوال الراصد أو الماضي منه، فإذا كان ناتج العلاقة موجب الإشارة فهذا يعني أن الجرم السماوي قد توسط وتجاوز خط زوال الراصد، ما يستوجب التقدم بالوقت بقدر قيمة الزاوية الساعية المحلية، بينما إذا كان الناتج سالب الإشارة فهذا يعني أن الجرم السماوي لم يتوسط بعد ولم يبلغ خط زوال الراصد، وذلك يستوجب التأخر بالوقت بنفس القدر من أجل معرفة وقت التوسط، والمقصود بالوقت هنا هو وقت حساب كل من مطلع الجرم المستقيم وزاويته الساعية المحلية، أي وقت السؤال .

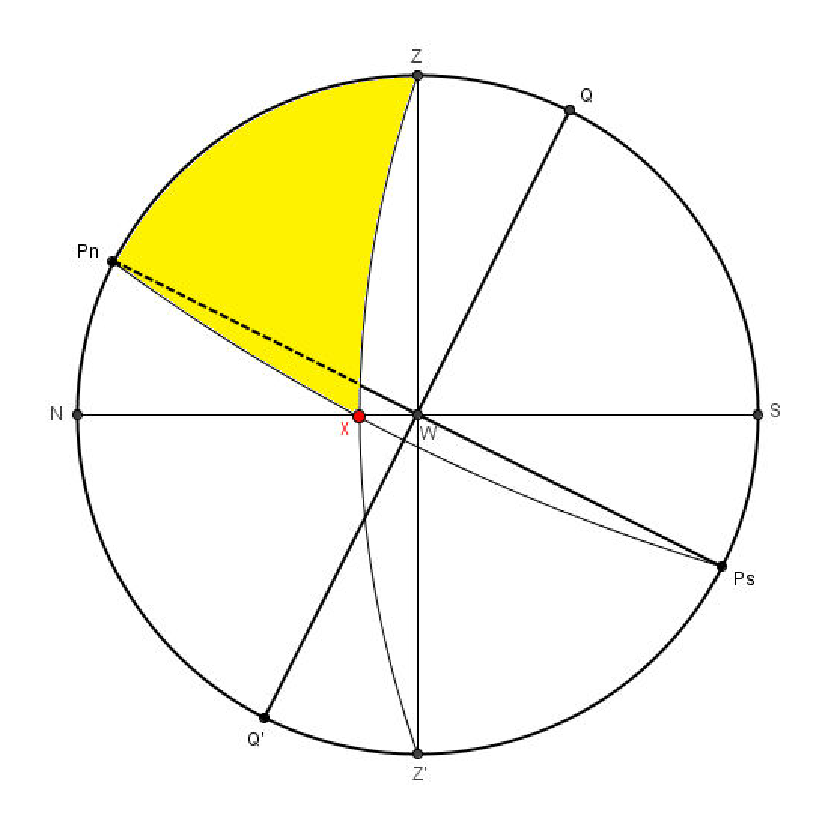
في حالة النجوم يجب قسمة الزاوية الساعية الناتجة على 1.00273791، وذلك بعد تحويلها إلى وحدات زمنية لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط ومن ثم نتبع بقية الخطوات الحسابية السابقة .

أما في حال القمر، ونتيجة للتغير السريع في قيمة مطلعه المستقيمة، فإن الأمر يتطلب معرفة مسبقة بوقت توسطه التقريبي، وذلك من أجل إستخراج قيمة المطلع المستقيم والزمن النجمي المحلي عند هذا الوقت التقريبي، فإن لم يكن ذلك متاحاً، نجري الحساب مرتين بحيث يكون وقت الزوال الناتج من الحساب الأول تقريبي، والذي من خلاله نوجد قيمة كل من المطلع المستقيم والزمن النجمي المحلي لاستخدامها في الحساب الثاني لوقت التوسط المطلوب .

كما يمكن كذلك معرفة الزاوية المحصورة عند القطب P بين خط زوال الراصد وخط الزوال المار بالجرم السماوي، ومن ثم معرفة وقت التوسط، في حال أمكن رصد إرتفاع الجرم السماوي بواسطة آلة قياس دقيقة، حيث يمكن تطبيق قواعد المثلث الكروي بطريقة معرفة الوقت بدلالة الإرتفاع كما تم شرحه مسبقاً، ومن ثم إتباع بقية الخطوات الحسابية لمعرفة وقت توسط الجرم السماوي .

الشروق والغروب ***Rising & Setting***

الشروق والغروب ظاهرة فلكية تحدث عند اللحظة التي يكون فيها الجرم السماوي عند أفق الراصد، وبالنسبة لتلك الأجرام التي تلاحظ على هيئة قرص كالشمس والقمر، يكون الشروق والغروب بالنسبة إليها عند اللحظة التي تمس فيها الحافة العليا لقرص الجرم أفق الراصد، وتتحقق هذه الظاهرة فقط إذا كان مجموع قيمة كل من عرض الراصد وميل الجرم أقل من 90° .



في الشكل أعلاه الجرم السماوي X في وضع الغروب عند الأفق الغربي للراصد NWS ، يكون بعده السمتي ZX عند هذا الوضع يساوي 90°، وزاويته الساعية المحلية تتمثل بالزاوية ZPX ، بينما يمثل القوس PX بعده القطبي، وباعتبار الزاوية PZX زاوية الجرم السمتية، في حين يكون القوس PZ هو تمام عرض الراصد .

يمكن تطبيق قوانين المثلث الكروي (الحالة الثانية) لحساب الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي X لحظة شروقه أو غروبه، حيث تمثل هذه الزاوية نصف الفترة الزمنية لظهور الجرم السماوي فوق الأفق، وتسمى نصف قوس الظهور، وبطرحها من وقت توسط الجرم السماوي نحصل على وقت شروقه، بينما بجمعها مع وقت التوسط نكون قد حصلنا على وقت غروبه .

$$Cos(a) = Cos(b)Cos(c) + Sin(b)Sin(c)Cos(A)$$

$$Cos(ZX) = Cos(PZ)Cos(PX) + Sin(PZ)Sin(PX)Cos(LHA)$$

$$Cos(90°) = Sin(Lat)Sin(Dec) + Cos(Lat)Cos(Dec)Cos(LHA)$$

$$\because Cos(90°) = 0$$

$$\therefore Cos(LHA) = \frac{-Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = -Tan(Lat)Tan(Dec)$$

عند خطوط العرض الشمالية وفي حال الأجرام السماوية ذات الميول الشمالية، فإن قيمة نصف قوس النهار تكون ما بين 6 ساعات إلى 12 ساعة، وتكون الزاوية السمتية للجرم لحظة شروقه باتجاه الشمال الشرقي، بينما تكون عند غروبه باتجاه الشمال الغربي .

أما في حال الأجرام السماوية ذات الميول الجنوبية، فإن قيمة نصف قوس النهار تكون ما بين 0 ساعة إلى 6 ساعات، وتكون الزاوية السمتية للجرم لحظة شروقه باتجاه الجنوب الشرقي، بينما تكون عند غروبه باتجاه الجنوب الغربي. وكما ذكرنا سالفاً، يشرق الجرم السماوي من نقطة الشرق ويغرب عند نقطة الغرب عندما يكون ميله يساوي صفراً، وذلك فقط من الناحية النظرية.

إن المعادلة السابقة تعطي قيمة الزاوية الساعية المحلية لوقت الشروق والغروب النظري للأجرام السماوية، باعتبار أن البعد السمتي للجرم عند تلك اللحظة يساوي $90°$، وهذا لا يحدث في الواقع المشاهد، إذ لابد من أخذ بعض العوامل المؤثرة على قيمة البعد السمتي في الإعتبار، ويمكن إختصار هذه العوامل فيما يلي :

<u>الإنكسار الضوئي</u>

يعمل الغلاف الجوي للأرض على إنكسار الضوء القادم من الأجرام السماوية، نتيجة إختلاف الكثافة في الغلاف الجوي، بحيث يعمل على جعل الأجرام السماوية تبدو على إرتفاعات أعلى مما هي عليه في واقع الأمر، ما يترتب عليه مشاهدة شروق الأجرام قبل موعدها الفعلي وغروبها بعد ذلك، وبالتالي لا بد من حساب تصحيح خطأ الإنكسار وإضافته إلى قيمة البعد السمتي عند وقت الشروق والغروب، علماً بأن الأنكسار يبلغ أقصى قيمة له حينما يكون الجرم عند الأفق، ويتناقص بارتفاعه عن الأفق، حتى إذا بلغ الجرم السماوي سمت الراصد إنعدم الإنكسار .

وتؤخذ كل من درجة الحرارة والضغط الجوي في الإعتبار كذلك عند حساب قيمة الإنكسار، حيث أنها تتناسب عكسياً مع درجة الحرارة، وطردياً مع الضغط الجوي. وعلى إعتبار h تمثل إرتفاع الجرم السماوي بالدرجات عن مسوى الأفق يمكن حساب قيمة خطأ الإنكسار R بالدقائق القوسية من خلال العلاقة التالية:

$$R = \frac{1}{Tan[h + (\frac{7.31}{h + 4.4})]}$$

نصف القطر

بما أن المطلوب حسابه هو وقت شروق وغروب الحافة العليا لقرص الجرم السماوي، وليس مركزه فيكون من الضروري عندها إضافة قيمة نصف قطر تلك الأجرام التي تظهر على هيئة قرص، كما الحال بالنسبة للشمس والقمر، ويقدر قيمة نصف قطر الشمس بحوالي $16'$ دقيقة قوسية .

إنخفاض الأفق

إرتفاع الراصد عن مستوى سطح البحر يؤدي إلى إنخفاض الأفق بالنسبة إليه، وبالتالي تمكينه من رؤية شروق الأجرام السماوية قبل ذلك الراصد الواقع على مستوى سطح البحر، وكذلك تمكنه من رؤية غروب الأجرام السماوية بعد رؤية ذلك الراصد الآخر لها.

كما أنه وعند الإرتفاعات الكبيرة عن مستوى سطح البحر، يحدث إنكسار من نوع آخر لضوء الأجرام السماوية لا بد كذلك من أخذه في الإعتبار .

وباعتبار h تمثل إرتفاع الراصد بالمتر عن مسوى سطح البحر فإنه يمكن حساب قيمة إنخفاض الأفق بالدقائق القوسية من خلال المعادلة التالية والتي تضاف إلى البعد السمتي لوقت الشروق والغروب .

$$Dip. = 2.12\sqrt{h}$$

ومما تجدر الإشارة إليه، أنه وفي بعض الحالات الجغرافية قد يكون الراصد واقعاً في منطقة مرتفعة عن مستوى سطح البحر، وفي نفس الوقت تكون جميع المناطق من حوله مرتفعة هي الأخرى بنفس مقدار إرتفاع الراصد، وفي هذه الحالة يظهر الأفق بالنسبة إلى الراصد ممتد بشكل مستوي، فلا يكون هناك حاجة لتصحيح خطأ إنخفاض الأفق .

إختلاف المنظر

أو اللوص الأفقي ، وهو الزاوية عند مركز الجرم السماوي المحصورة مابين الراصد ومركز الأرض ، وتبلغ هذه الزاوية أقصى قيمة لها عندما يكون الجرم عند الأفق ، بينما تقل تدريجياً كلما إرتفع عنه حتى إذا بلغ الجرم السماوي سمت الراصد إنعدمت الزاوية.

ولما كان المطلوب هو حساب وقت شروق وغروب الأجرام السماوية بالنسبة إلى الراصد الواقع على سطح الكرة الأرضية ، وليس عند مركزها كما تفترض المعادلات الرياضية ، يصبح من الضروري أخذ قيمة إختلاف المنظر في الإعتبار ، بحيث يتم طرحها من البعد السمتي لوقت الشروق والغروب ، وهي تعادل حوالي $9''$ ثوان قوسية بالنسبة إلى الشمس.

على ذلك تتبدل قيمة البعد السمتي للجرم السماوي عند لحظة شروقه وغروبه من 90° إلى القيمة

البعد السمتي = 90° + الإنكسار + نصف القطر + إنخفاض الأفق - إختلاف المنظر

ويمكن إعتماد القيمة المتوسطة للبعد السمتي لشروق وغروب كل من الشمس والقمر والنجوم والكواكب ، بالنسبة إلى راصد بمستوى سطح البحر على النحو التالي :

الجرم السماوي	البعد السمتي للشروق والغروب
الشمس	$90^\circ\ 50.0'$
القمر	$89^\circ\ 52.5'$
النجوم والكواكب	$90^\circ\ 34.0'$

وبتطبيق قوانين المثلث الكروي (الحالةالأولى) لحساب الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي X لحظة شروقه أو غروبه المرئي ، نجد أن :

$$Cos(A) = \frac{Cos(a) - Cos(b)Cos(c)}{Sin(b)Sin(c)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZX) - Cos(PZ)Cos(PX)}{Sin(PZ)Sin(PX)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

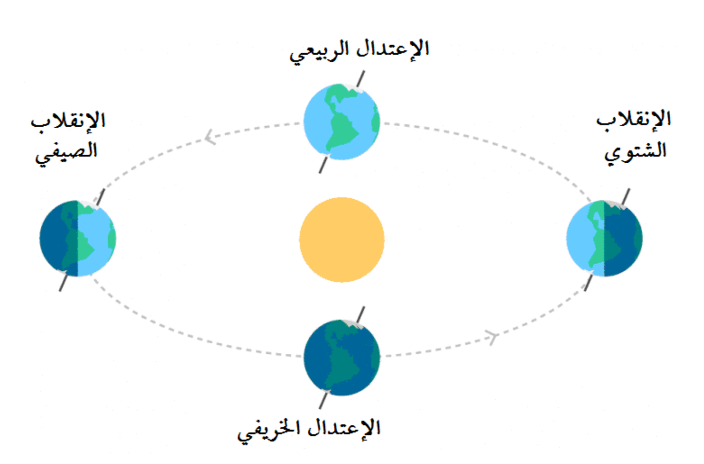
طول قوس الظهور

هو ضعف مقدار نصف قوس الظهور، ويعرف على أنه تلك الفترة الزمينة المحصورة بين شروق الجرم السماوي وغروبه، بمعنى أنه طول الفترة الزمنية التي يكون فيها الجرم السماوي متواجداً فوق الأفق، ويعتمد بالدرجة الأولى على قيمة كل من ميل الجرم ودرجة عرض الراصد، كما أنه يرتبط بمواقيت شروق الأجرام السماوية وغروبها، حيث أنه كلما زاد طول قوس الظهور تقدم موعد الشروق وبالمقابل يتأخر موعد الغروب، بالإضافة إلى ذلك فإن طول قوس الظهور يرتبط بارتفاع الجرم السماوي وقت توسطه، بحيث تزداد قيمة الإرتفاع الزوالي للجرم كلما زاد طول قوس ظهوره، وذلك عند ثبات خط العرض.

وبتغير قيمة ميل الجرم السماوي وثبات العرض، فإن طول قوس ظهور الجرم يتغير بتغير الميل، كما أن مواقيت شروقه وغروبه تتغير هي الأخرى تبعاً لذلك، ويكون هذا التغير بالنسبة لخطوط العرض الشمالية على النحو التالي :

- يزداد طول القوس كلما زادت قيمة الميل الشمالي أو قلت قيمة الميل الجنوبي .
- يبلغ طول القوس أقصى قيمة له عند أقصى قيمة للميل الشمالي.
- يقل طول القوس كلما قلت قيمة الميل الشمالي أو زادت قيمة الميل الجنوبي .
- يبلغ طول القوس أدنى قيمة له عند أقصى قيمة للميل الجنوبي .
- يتساوى طول قوس الظهور مع طول قوس الإختفاء نظرياً حينما تكون قيمة الميل أو خط العرض أو كلاهما يساوي الصفر .
- يحدث العكس تماماً عند خطوط العرض الجنوبية .

بالنظر إلى الشمس، ونتيجة لدوران محور الكرة الأرضية المائل من جهة، ودوران الكرة الأرضية حول الشمس من جهة آخرى، يظهر ما يعرف بإسم دائرة الإضاءة (النهار) عند الجهة من الأرض المقابلة للشمس، وتقسم هذه الدائرة خطوط العرض إلى أجزاء غير متساوية من حيث توزيع الإضاءة، كما ويتغير شكل هذه الدائرة بصورة مستمرة لارتباطها المباشر بحركة دوران الأرض .



إننا نلاحظ زيادة طول ساعات النهار إبتداءاً من نهاية شهر مارس، حيث تبدأ قيمة الميل الشمالي للشمس بالزيادة من بعد يوم الإعتدال الربيعي 20 مارس، فيأخذ قوس النهار بالزيادة تدريجاً حتى يوم الإنقلاب الصيفي 21 يونيو، حيث يبلغ الميل حينها أقصى قيمة شمالية له، فيكون طول قوس النهار أقصى ما يمكن.

وباستمرار حركة الشمس يبدأ ميلها الشمالي بالنقصان، وعليه يقل طول قوس النهار تدريجياً حتى يوم الإعتدال الخريفي 22 سبتمبر، حين تقطع الشمس دائرة خط الإستواء السماوي من الشمالي إلى الجنوب، فتكون قيمة الميل قد بلغت الصفر، فيتساوى عندئذ طول النهار مع طول الليل نظرياً. وتواصل الشمس حركتها جنوب دائرة خط الإستواء السماوي، ليتناقص طول قوس النهار حتى يوم الإنقلاب الشتوي 21 ديسمبر، حيث يبلغ الميل حينها أقصى قيمة جنوبية له، فيكون طول قوس النهار في أدنى قيمة له.

ثم يبدأ الميل الجنوبي بعد ذلك بالنقصان، فيأخذ قوس النهار بالزيادة، حتى تعود الشمس لنقطة بدايتها عند الإعتدال الربيعي 20 مارس، فتكون قيمة الميل قد بلغت الصفر فيتساوى حينها طول النهار مع طول الليل نظرياً.

وأما فيما يتعلق بتأثير درجة عرض الراصد على طول قوس الظهور، فإن هذا الأخير وعلى إفتراض ثبات قيمة الميل الشمالي، يتغير بتغير خط عرض الراصد، ويكون هذا التغير بالنسبة للميل الشمالي على النحو التالي:

- يزداد طول القوس كلما زادت قيمة العرض الشمالي أو قلت قيمة العرض الجنوبي.
- يبلغ طول القوس أقصى قيمة له عند أقصى قيمة للعرض الشمالي.
- يقل طول القوس كلما قلت قيمة العرض الشمالي أو زادت قيمة العرض الجنوبي.
- يبلغ طول القوس أدنى قيمة له عند أقصى قيمة للعرض الجنوبي.
- يتساوى طول قوس الظهور مع طول قوس الإختفاء نظرياً حينما تكون قيمة الميل أو خط العرض أو كلاهما يساوي الصفر.
- يحدث العكس تماماً في حال الميل الجنوبي.

فعلى سبيل المثال يكون طول النهار بالنسبة إلى الشمس عند خط عرض 30° شمال خلال شهر يونيو، حيث يكون ميلها شمالي أكبر منه عند خط عرض 15° شمال، بينما خلال شهر ديسمبر حيث يكون ميلها جنوبي فإن طول النهار عند خط عرض 15° شمال يكون هو الأكبر.

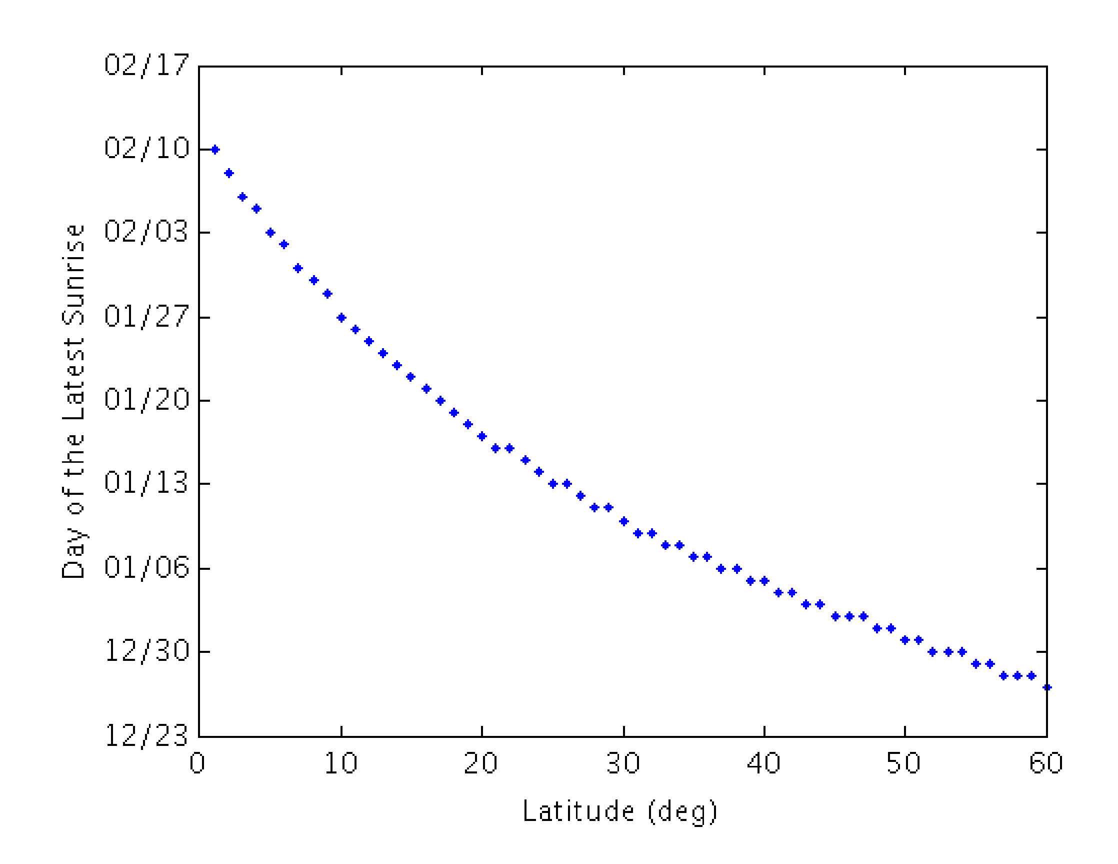
إن مسألة أطول نهار الذي يحدث في يوم الإنقلاب الصيفي، وأقصر نهار الذي يحدث في يوم الإنقلاب الشتوي بالنسبة إلينا نحن سكان النصف الشمالي للكرة الأرضية، لا يجب إعتباره السبب المباشر والوحيد بمسألة تقدم أو تأخر مواقيت شروق الشمس وغروبها، فعلى سبيل المثال يصادف يوم الإنقلاب الشتوي 21 ديسمبر أقصر أيام السنة، على إعتبار أن طول قوس النهار في هذا اليوم يكون في أدنى قيمة له، لكن هذا لا يعني بأن الشمس في هذا اليوم ستشرق في وقت متأخر بالنسبة لبقية أيام السنة، حيث أن الإختلاف في مواقيت الشروق والغروب ينتج عن إتباع الوقت الشمسي المتوسط، والذي يختلف عن الوقت الظاهري الحقيقي .

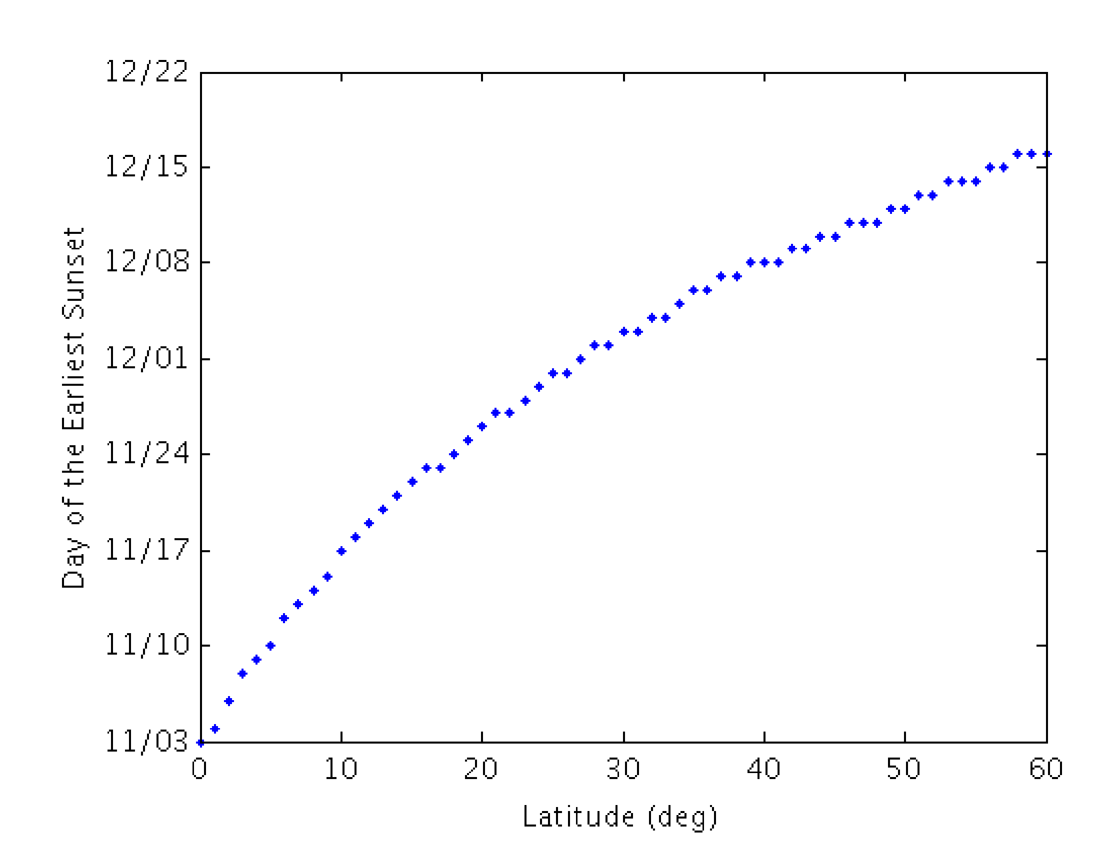
إن وقت شروق الشمس المتأخر، يحدث في اليوم الذي تكون فيه المدة الزمنية بين وقت الزوال ووقت الشروق أقل ما يمكن، وليس عندما يكون طول قوس النهار أقل ما يمكن.

إن وقت زوال الشمس، وبمعنى آخر وقت الظهر لا يحدث على مدى أيام السنة عند نفس الوقت المتوسط MT، وذلك بخلاف الوقت الظاهري الحقيقي AT، الذي يكون وقت الزوال بالنسبة إليه دائماً عند الساعة 12^h كما في حال المزولة الشمسية، إنما يتغير من يوم لآخر عند خطوط الطول الرئيسية بحسب قيمة معادلة الوقت.

كما ويتحدد ذلك بحسب خط عرض الراصد، فبالنسبة لخط عرض $30°N$ على سبيل المثال، فإن وقت شروق الشمس المتأخر يصادف حوالي يوم 10 يناير، في حين وقت غروب الشمس المتقدم عند نفس خط العرض يصادف يوم 2 ديسمبر، وفيما يلي جدول يوضح أيام شروق الشمس المتأخر والمتقدم عند خطوط عرض شمالية مختلفة .

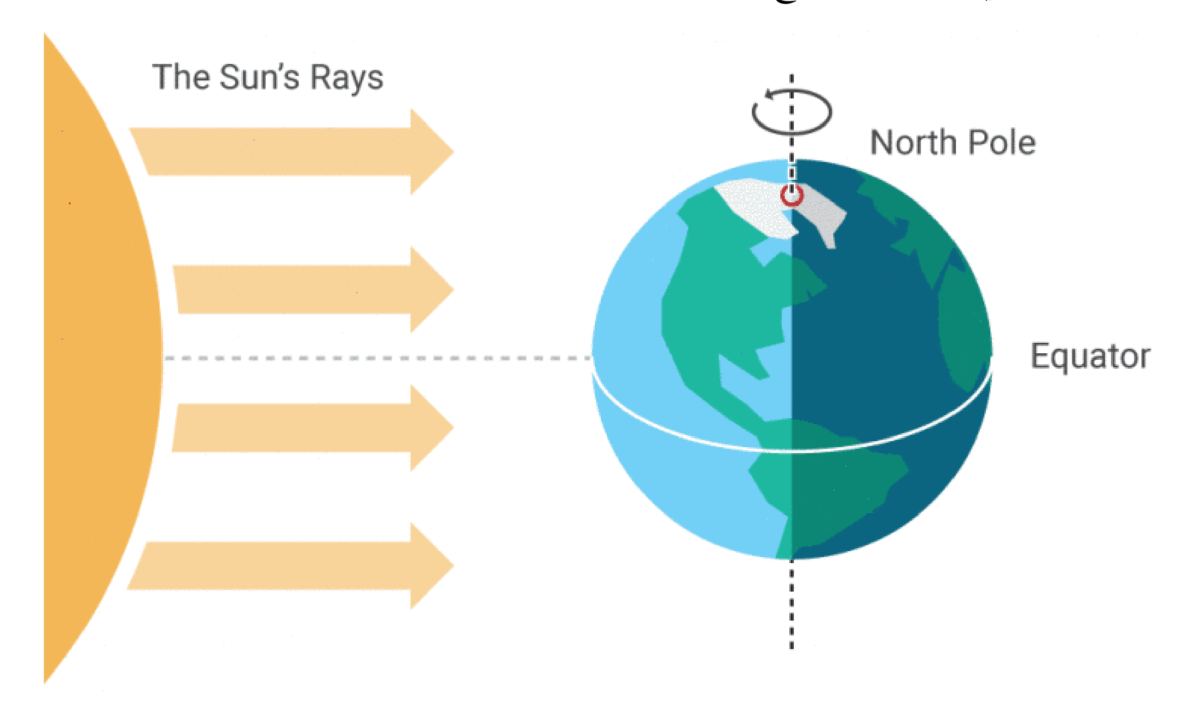
خط العرض	يوم شروق الشمس المتأخر	يوم شروق الشمس المتقدم
10° N	28 يناير	29 مايو
15° N	22 يناير	3 يونيو
20° N	18 يناير	6 يونيو
25° N	14 يناير	9 يونيو
30° N	11 يناير	11 يونيو
35° N	8 يناير	13 يونيو
40° N	5 يناير	15 يونيو
45° N	3 يناير	16 يونيو


02/17
02/10
02/03
01/27
01/20
01/13
01/06
12/30
12/23
Day of the Latest Sunrise
0
10
20
30
40
50
60
Latitude (deg)


12/22
12/15
12/08
12/01
11/24
11/17
11/10
11/03
Day of the Earliest Sunset
0
10
20
30
40
50
60
Latitude (deg)

الإعتدالين وتساوي النهار والليل

الإعتدال هو التوسط بين حالين في كم أو كيف أو تناسب ، ويدل الإعتدال في الفلك على إعتدال الزمان وتساوي ساعات النهار مع ساعات الليل.



ويمكن تعريف الإعتدال على أنه تلك اللحظة التي يبلغ عندها الطول السماوي لمركز الشمس للدرجة $0°$ أو $180°$ ، ولا يحدث الإعتدال في نفس اليوم من كل سنة ، ويرجع ذلك إلى أن الكرة الأرضية تستغرق حوالي 365 يوم وربع لتتم دورة كاملة حول الشمس بما يسمى بالسنة المدارية ، وهذا ما يجعل لدينا سنة كبيسة كل أربع سنوات ، حيث يتم إضافة يوم كامل في تقويم تلك السنة ، ولهذا لا يحل موعد الإعتدال في نفس اليوم من كل سنة.

السنــة	موعد الإعتدال الربيعي	موعد الإعتدال الخريفي	سنة كبيسة
2005	20 March, 12:34	22 September, 22:24	
2006	20 March, 18:26	23 September, 04:04	
2007	21 March, 00:08	23 September, 09:52	
2008	20 March, 05:49	22 September, 15:45	
2009	20 March, 11:44	22 September, 21:19	
2010	20 March, 17:33	23 September, 03:10	
2011	20 March, 23:22	23 September, 09:05	
2012	20 March, 05:15	22 September, 14:50	

توقيت غرينتش GMT

غالباً ما نسمع عن تساوي ساعات النهار بساعات الليل في يومي الإعتدال الربيعي والخريفي، حيث ينعدم ميل الشمس عند هذين اليومين، فيكون طول ساعات النهار 12 ساعة ومثلها لساعات الليل، وهذا صحيح من الناحية النظرية، غير أن الأمر في الواقع لا يكون كذلك، فمن خلال الجدول التالي لمواقيت شروق وغروب الشمس عند خط عرض $30^{\circ}N$، يتضح من خلاله طول ساعات النهار لعدة أيام قريبة من يوم الإعتدال الربيعي 20 مارس، والذي لم يحدث عنده تساوي ساعات النهار مع ساعات الليل.

التاريخ	موعد الشروق	موعد الغروب	طول النهار
16 مارس	05 : 57	17 : 56	11 : 59
17 مارس	05 : 56	17 : 56	12 : 00
18 مارس	05 : 55	17 : 57	12 : 02
19 مارس	05 : 53	17 : 58	12 : 05
20 مارس	05 : 52	17 : 58	12 : 06
21 مارس	05 : 51	17 : 59	12 : 08

وتفسير ذلك يرجع إلى عدة عوامل رئيسية هي:

- يحسب شروق الشمس وغروبها للحافة العليا لقرص الشمس، وليس لمركزها أو لأي مكان آخر منها، ففي الوقت الذي يكون مركز الشمس لايزال أسفل الأفق تكون الحافة العليا للشمس قد لامست خط الأفق، وتقدر المسافة الزاوية بين مركز قرص الشمس وحافتها العليا بنصف قطر قرص الشمس الذي يعادل في المتوسط $16'$ دقيقة قوسية تضاف إلى قوس النهار عند الشروق والغروب، وهذا من شأنه زيادة طول ساعات النهار عن 12^{h} ساعة على حساب ساعات الليل.

- عامل آخر يجعل ساعات النهار أكثر بقليل من 12^{h} ساعة في يومي الإعتدال هو الإنكسار الضوئي الحاصل لشعاع الشمس نتيجة الغلاف الجوي للأرض، حيث يتسبب الإنكسار برؤية الحافة العليا لقرص الشمس عند الأفق الشرقي قبل وقت ظهورها الفعلي، ويحدث نفس الشيء عند الأفق الغربي حيث تُرى الحافة العليا لقرص الشمس حتى بعد غروبها الفعلي واختفائها أسفل الأفق، ويقدر تأثير الإنكسار عند وقت شروق الشمس وغروبها بحوالي $34'$ دقيقة قوسية في المتوسط علماً بأنها تتغير بتغير كل من درجة الحرارة والضغط الجوي.

- إن يوم الإعتدال هو في حقيقة الأمر ليس بيوم إنما هو جزء من اليوم ، وذلك في اللحظة التي تكون فيها الشمس واقعة عند نقطة تقاطع الدائرة السماوية مع خط الإستواء السماوي فيكون طول الشمس السماوي 0° أو 180° حيث ينعدم ميل الشمس عند هذه النقطة تحديداً ، وعلى سبيل المثال فإن الإعتدال الربيعي سنة 2015 قد حدث في تمام الساعة 22:45 غرينتش من يوم 20 مارس ، وبالتالي لا يكون هذا اليوم هو يوم الإعتدال إنما هو اليوم الذي حدث فيه الإعتدال .

ومن شأن هذه العوامل أن تزيد طول ساعات النهار عن ساعات الليل في أيام الإعتدال بحوالي 8^{m} دقائق زمنية عند خطوط العرض المتوسطة ، ويتغير مقدار هذه الدقائق الزمنية بحسب خط العرض الذي يتحدد على أثره اليوم الذي يحدث فيه تساوي النهار بالليل.

خط العرض	التاريخ التقريبي ليوم تساوي ساعات النهار بساعات الليل	
	الإعتدال الربيعي	الإعتدال الخريفي
60° N	19 مارس	25 سبتمبر
50° N	18 مارس	25 سبتمبر
40° N	18 مارس	26 سبتمبر
30° N	17 مارس	27 سبتمبر
20° N	15 مارس	28 سبتمبر
10° N	09 مارس	04 أكتوبر
خط الإستواء	لا يحدث تساوٍ	
10° S	01 أبريل	10 سبتمبر
20° S	26 مارس	16 سبتمبر
30° S	24 مارس	18 سبتمبر
40° S	23 مارس	19 سبتمبر
50° S	23 مارس	20 سبتمبر
60° S	22 مارس	20 سبتمبر

ولذات الأسباب لا تكون ساعات النهار مساوية لساعات الليل كذلك عند خط الإستواء على مدار أيام السنة كما هو شائع ، رغم إنعدام قيمة العرض الجغرافي ، حيث تظل ساعات النهار دائماً أكبر من 12^{h} ساعة بقليل .

الشفـق *Twilight*

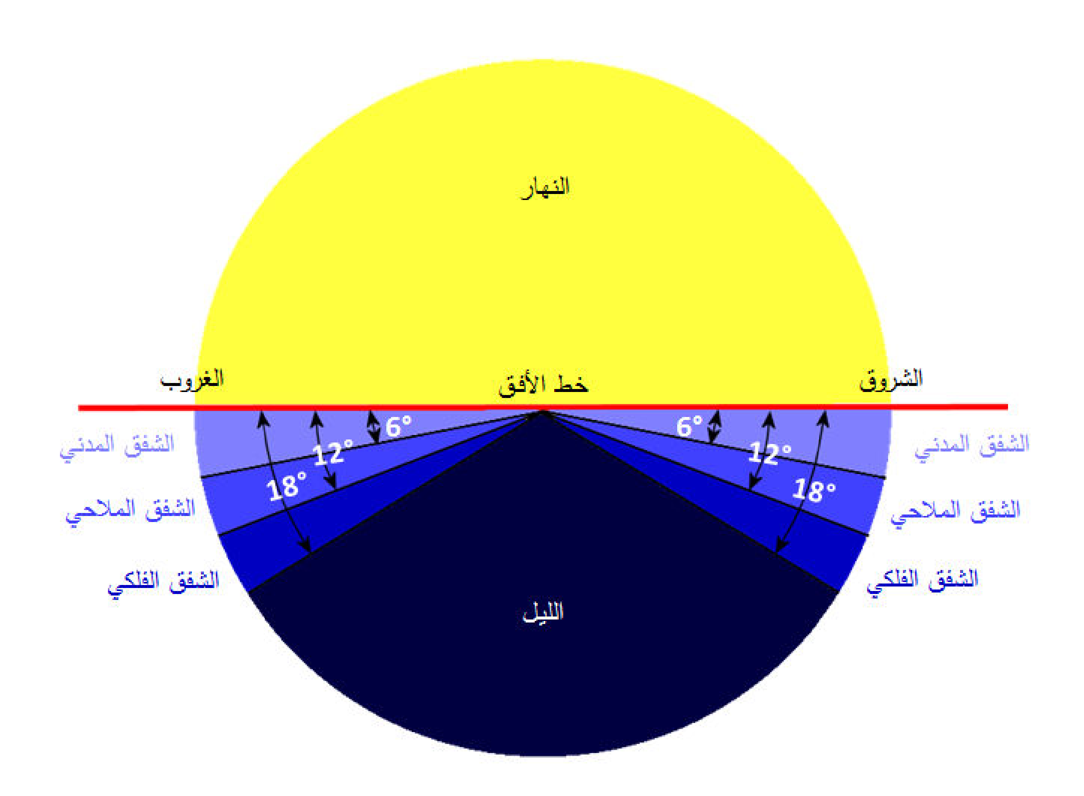
الشفق عبارة عن ظاهرة ضوئية تتمثل في الضوء الذي يظهر عند الأفق الشرقي قبيل شروق الشمس ، وعند الأفق الغربي بعيد غروبها ، ويتميز هذا الضوء بميلانه نحو الحمره. ويحدث الشفق نتيجة إنكسار وتشتت ضوء الشمس عند الطبقات العليا للغلاف الجوي للأرض بفعل إصطدام الضوء بالذرات والجزيئات المكونة للغلاف الجوي بالإضافة إلى الجسيمات المنتشرة فيه مثل الغبار والدخان وبخار الماء وشوائب أخرى عالقة .

إن الضوء الأبيض الذي نراه يتكون في الحقيقة من سبعة ألوان ذات أطوال موجية مختلفة تعرف بألوان الطيف الضوئي ، مرتبة تصاعدياً بحسب الطول الموجي ، وتنازلياً بحسب التردد كالتالي (البنفسجي ، الكحلي ، الأزرق ، الأخضر ، الأصفر ، البرتقالي ، الأحمر)، وتتناسب قوة التشتت الضوئي عكسياً مع طول الموجة ، كما أن حجم الجسيمات والجزيئات في الغلاف الجوي يؤثر كذلك على مقدار هذا التشتت فحينما يصطدم الضوء بجزيئات الجو التي هي أكبر من طول موجة الضوء ينعكس كامل الضوء في جميع الاتجاهات ليظهر اللون الأبيض ، في حين عند إصطدامه بالجزيئات الأصغر من طول موجة الضوء مثل الأوكسجين والنيتروجين اللذان يكونان حوالي 99% من حجم الغلاف الجوي ، يحدث للضوء حينها تشتت .

فعندما يمر ضوء الشمس عبر الغلاف الجوي ومع وجود كميات كبيرة من الجزيئات الصغيرة المنتشرة في الغلاف الجوي يحدث تشتت للضوء بحيث تتشتت الموجات القصيرة من ألوان الطيف بدرجة أكبر بكثير من الموجات الطويلة ، ولهذا السبب فإننا نرى السماء زرقاء في النهار حيث يتشتت وينتشر اللون الأزرق في جميع الإتجاهات .

أما ما يحدث عند وقت الغروب والشروق فهو أن ضوء الشمس حينما تكون عند الأفق يقطع مسافات طويلة ، وطبقة أكثر سماكة عبر الغلاف الجوي حتى يصل إلى أعيننا ، أطول من أي موقع آخر للشمس خلال تواجدها فوق الأفق ، ما يعني تعرض الضوء إلى قدر أكثر من الجزيئات والجسيمات العالقة في الغلاف الجوي ، فيكون اللون الأزرق قد تشتت بقدر كبير وتلاشى بعيداً ، ويتعزز هذا التشتت بوجود الجسيمات ذات الأحجام الكبيرة نسبياً كالغبار والتلوث الجوي بالقرب من الأفق ، ما يسمح للألوان ذات الطول الموجي الأكبر كالأصفر والبرتقالي والأحمر بالبقاء والوصول إلينا ، فتظهر السماء مائلة إلى اللون الأحمر أثناء فترة شروق الشمس وغروبها ، وهذا سبب حدوث ظاهرة الشفق .

وينقسم الشفق فلكياً بحسب درجة إنخفاض مركز الشمس أسفل الأفق إلى ثلاثة أقسام رئيسية :



الشفق المدني : تبدأ فترة الشفق المدني الصباحي عند بلوغ مركز الشمس 6° أسفل الأفق الشرقي ويستمر حتى لحظة شروق الحافة العليا للشمس بينما يبدأ الشفق المدني المسائي عند لحظة غروب الحافة العليا للشمس وحتى إنخفاض مركز الشمس 6° أسفل الأفق الغربي .

وخلال فترة الشفق المدني يكون هناك مايكفي من الضوء لتمييز الأشياء وممارسة الأنشطة في الخارج دون الحاجة إلى مصدر إضاءة إصطناعي ، ويظهر خط الأفق بشكل واضح ، وتحت ظروف جوية مناسبة يمكن مشاهدة مجموعة من ألمع النجوم في السماء ، وبعض الكواكب مثل كوكب الزهرة الذي يعرف بنجمة الصباح والمساء ، وكذلك كوكب المريخ .

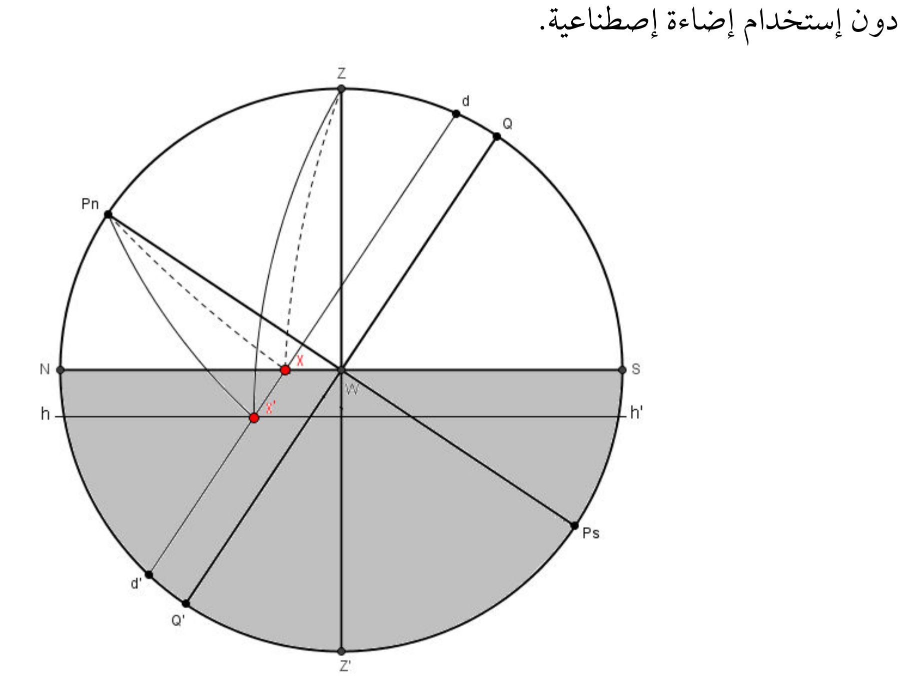
الشفق الملاحي : الفترة الزمينة التي تبدأ صباحاً قبل شروق الشمس أو تنتهي مساءً بعد غروب الشمس حينما يكون مركز الشمس بين 6° و 12° أسفل الأفق الشرقي أو الغربي .

تظل إضاءة الشمس عند الأفق ظاهرة ، ويمكن تمييز خط الأفق بشكل جيد خلال هذه الفترة ما يسمح للملاحين بأخذ رصدات النجوم اللامعة باستخدام آلة السدس لأغراض الملاحة ، ومن هنا جاءت تسمية الشفق الملاحي.

عند نهاية الشفق الملاحي المسائي تكون رؤية الأشياء بشكل عام جيدة دون القدرة على معرفة تفاصيلها الدقيقة، ويبدأ خط الأفق بالتلاشي تدريجياً كما تبدأ الحاجة إلى إستخدام الأضواء الإصطناعية في الشوارع والمباني داخل المدن .

الشفق الفلكي : الفترة الزمينة التي تبدأ صباحاً قبل شروق الشمس أو تنتهي مساءً بعد غروب الشمس حينما يكون مركز الشمس بين 12° و 18° أسفل الأفق الشرقي أو الغربي .

تبدأ السماء خلال فترة الشفق الفلكي المسائي بالتحول تدريجياً إلى اللون الأزرق الداكن فتتلاشى ألوان الشفق وتتحول مع مرور الوقت إلى اللون الأسود عند بداية المساء، حيث يختفي خط الأفق فلا يمكن تمييزه في حين تكون رؤية النجوم وبقية الأجرام السماوية ممكنة بالعين المجردة، وعند نهاية فترة الشفق الفلكي المسائي تكون السماء مظلمة تماماً بحيث لا يمكن معها رؤية الأشياء من حولك دون إستخدام إضاءة إصطناعية.



حساب وقت الشفق

يتم حساب وقت بداية أو نهاية الشفق باستخدام معادلة حساب نصف قوس الظهور مع إستبدال قيمة قوس البعد السمتي ZD الخاصة بوقت شروق وغروب الشمس بالقوس 96° للشفق المدني، والقوس 102° للشفق الملاحي، والقوس 108° للشفق الفلكي .

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

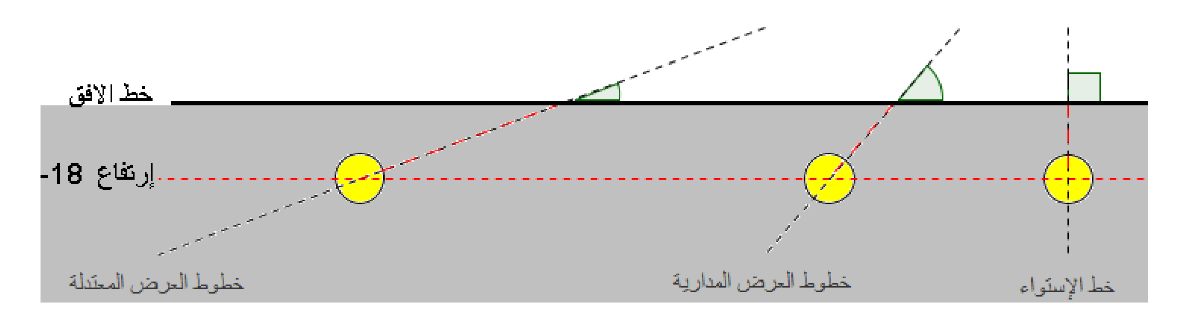
طول فترة الشفق

يختلف طول الشفق على مدار فصول السنة بحسب درجة ميل الشمس ، ومن مكان إلى آخر على سطح الكرة الأرضية بحسب خط العرض.

ففي فصلي الربيع والخريف عند أيام الإعتدالين وما حولهما تكون فترة الشفق قصيرة ، ويدخل الليل بصورة سريعة نسبياً بعد غروب الشمس ، بينما خلال فصل الصيف عند يوم الإنقلاب الصيفي وما حوله من ايام تكون فترة الشفق طويلة حيث تعتبر الأطول خلال السنة ، أما خلال فصل الشتاء عند يوم الإنقلاب الشتوي وما حوله من أيام تكون فترة الشفق أطول منها عند أيام الإعتدالين ولكن أقصر مما هي عند الإنقلاب الصيفي.

كما يختلف طول الشفق تبعاً لخط العرض فيكون أقصر ما يمكن عند خط الإستواء حيث تصنع الشمس أثناء غروبها زاوية عمودية على مستوى الأفق فيهبط الليل سريعاً بعد غروب الشمس .

عند المناطق ذات العروض المعتدلة فإن مسار الشمس في وقت الغروب يقطع مستوى الأفق بزاوية مائلة فتستغرق الشمس مزيداً من الوقت لقطع مسارها أثناء هبوطها أسفل الأفق فيكون طول الشفق أطول مما هو عليه عند خط الإستواء ، وتقل زاوية مسار الشمس عن مستوى الأفق وبالتالي يزداد طول فترة الشفق كلما إتجهنا بعيداً عن خط الإستواء باتجاه الأقطاب.



وتتغير زاوية ميلان مسار الشمس عن مستوى الأفق كذلك بتغير قيمة الميل ففي أيام الإعتدال حيث ينعدم الميل تكون قيمة هذه الزاوية مساوية لتمام عرض الراصد (90°- Lat) فتتخذ الشمس خط الإستواء السماوي مساراً لها ، في حين تكون أقل بقليل في يوم الإنقلاب الشتوي بينما تبلغ أقل قيمة لها في يوم الإنقلاب الصيفي ، وهذا ما يفسر زيادة طول الشفق في يوم الإنقلاب الصيفي عنه في الشتوي عند خطوط العرض الشمالية.

فعلى سبيل المثال عند خط عرض 30° N فإن طول الشفق يزداد بزيادة درجة ميل الشمس ويتناقص بنقصان درجة الميل، ويبلغ طول الشفق 01:36 حيث أقصى قيمة له عند الإنقلاب الصيفي بينما تكون أدنى قيمة له عند يومي الإعتدال حيث يبلغ 01:19 بينما في فصل الشتاء وعند الإنقلاب الشتوي يصل إلى 01:25 ، ويحدث ذات الأمر عند خط عرض 30° S بخلاف أن أقصى طول للشفق يحدث عند الإنقلاب الشتوي بدل الإنقلاب الصيفي وبنفس القيمة .

ولا يتساوى طول الشفق عند الإنقلابين إلا عند خط الإستواء فبالنسبة لخطوط العرض الشمالية يحدث الشفق الأطول خلال الإنقلاب الصيفي حيث يكون ميل الشمس شمالي بينما عند خطوط العرض الجنوبية يحدث الشفق الأطول خلال الإنقلاب الشتوي حيث يكون ميل الشمس جنوبي.

عند خط عرض $48^\circ\ 33'\ 39''$ N وخلال يوم الإنقلاب الصيفي حيث تبلغ الشمس أقصى ميل شمالي لها $23^\circ\ 26'\ 21''$ N يمكن ملاحظة إتصال الشفق الفلكي المسائي بعد غروب الشمس بالشفق الفلكي الصباحي مباشرة حيث أن أقصى درجة إنخفاض للشمس في هذا اليوم يبلغ 18° أسفل الأفق فيستمر الشفق حينئذ لساعات، ويعتبر هذا العرض هو آخر خط عرض يمكن أن يحدث عنده الشفق الفلكي طوال أيام السنة، ويمكن التحقق من ذلك باستخدام العلاقة الرياضية التي تبين أقصى درجة إنخفاض أسفل الأفق من الممكن للشمس أن تبلغها وتصل إليها بحسب خط العرض ودرجة ميل الشمس. مع مراعاة جمع قيمة كل من الميل والعرض في حال إتفاقهما في الجهة، وأخذ الفرق بينهما في حال إختلافهما.

للشفق المدني $90^\circ - (\text{Dec} \pm \text{Lat}) \geq 6^\circ$

للشفق الملاحي $90^\circ - (\text{Dec} \pm \text{Lat}) \geq 12^\circ$

للشفق الفلكي $90^\circ - (\text{Dec} \pm \text{Lat}) \geq 18^\circ$

ومن ذلك يتبين أن خط العرض $54^\circ\ 33'\ 39''$ N هو آخر خط عرض يمكن أن يحدث عنده الشفق الملاحي طوال أيام السنة بينما عند خط عرض $60^\circ\ 33'\ 39''$ N يحدث الشفق المدني طوال أيام السنة، ولا يتحقق ذلك في أي خط عرض أعلى شمالاً سوى في أيام معينة من السنة بحسب قيمة وإشارة درجة ميل الشمس.

سعة المشرق والمغرب ***Amplitudes***

السعة هي قوس من دائرة أفق الراصد مابين مركز الجرم السماوي لحظة شروقه أو غروبه ونقطة الشرق أو الغرب حيث تقاطع الدائرة الرأسية الأولى مع دائرة الأفق، وتحسب السعة Amp على إعتبار أن إرتفاع مركز الجرم السماوي يساوي الصفر باستخدام المعادلة التالية :

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(Dec)}{Cos(Lat)}$$

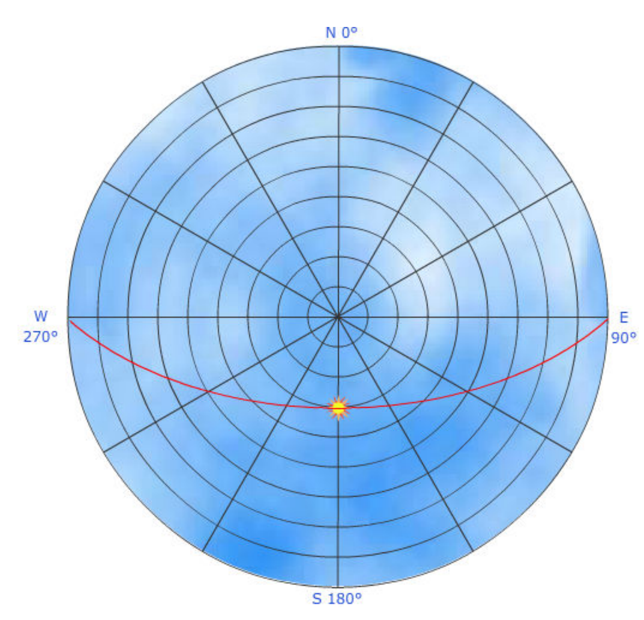
ويمكن الحصول على قيمة الزاوية السمتية Az للجرم السماوي عند لحظة شروقه أو غروبه وذلك من خلال العلاقات التالية :

$Az = 90° \pm Amp$ (+ للميل الجنوبي ، - للميل الشمالي)

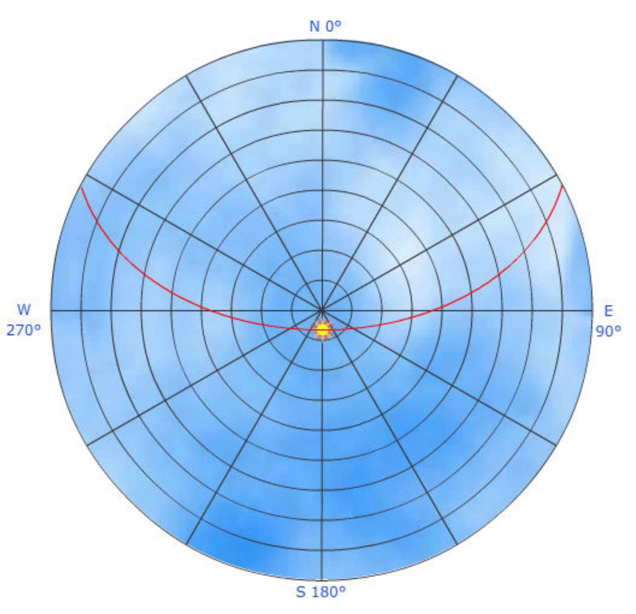
$Az = 270° \pm Amp$ (+ للميل الشمالي، - للميل الجنوبي)

عند ثبات خط العرض فإن قيمة السعة تتغير بتغير ميل الجرم السماوي ويتضح هذا التغير مع الشمس والقمر والكواكب حيث يلاحظ تغير إتجاه نقطة شروق وغروب هذه الأجرام من يوم إلى آخر نتيجة تغير قيمة ميولها. فبالنسبة إلى الشمس يمكن ملاحظة أنها تشرق باتجاه الشمال الشرقي وتغرب باتجاه الشمال الغربي خلال فصلي الربيع والصيف حيث يكون ميل الشمس شمالي بينما نجد أنها تشرق باتجاه الجنوب الشرقي وتغرب باتجاه الجنوب الغربي خلال فصلي الخريف والشتاء حيث يكون ميلها جنوبي، وفي يومي الإعتدال حيث تنعدم قيمة الميل نجد أنه ومن الناحية النظرية تشرق الشمس باتجاه الشرق وتغرب باتجاه الغرب.
أما في حال النجوم والتي يعتبر الميل ثابت تقريباً بالنسبة إليها فإننا نلاحظ ثبات قيمة السعة لكل نجم فنجدها عند خط عرض محدد تشرق على الدوام من نفس النقطة وتغرب عند نفس النقطة من الأفق، ونتيجة لذلك إستعان الملاحون قديماً بالنجوم في تحديد الإتجاهات على البوصلة.
قد يحدث أن يقطع الجرم خط الإستواء السماوي أثناء حركته في الفترة ما بين وقت شروقه وحتى وقت الغروب ما يعني تبدل ميله من جهة إلى جهة، ويلاحظ ذلك في حال القمر تحديداً نتيجة سرعة معدل التغير الذي يطرأ على درجة ميله، وعليه يجب مراعاة ذلك عند حساب قيمة السعة حيث تحسب السعة عند وقت شروق وغروب الجرم السماوي .

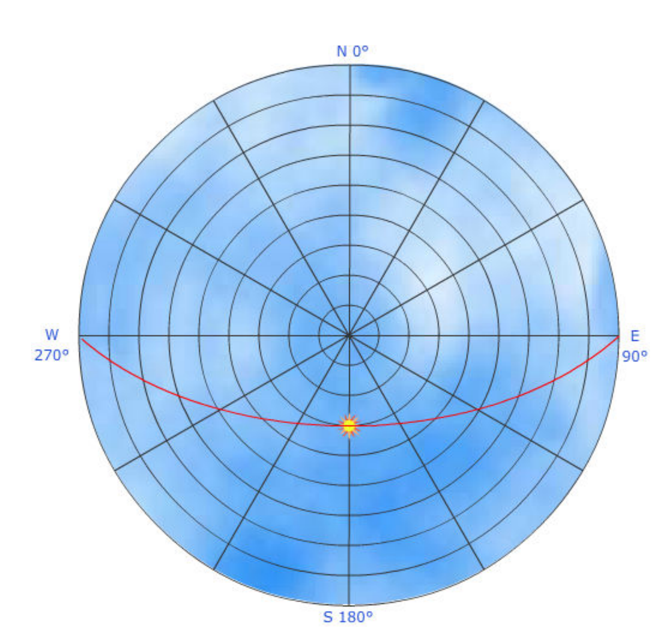
إسقاط أفقي للشمس لحظة زوالها بالنسبة لراصد ذو خط عرض شمالي في أيام الإعتدالين الربيعي والخريفي ، والإنقلابين الصيفي والشتوي يتضح من خلاله طول قوس النهار ، والبعد السمتي لحظة التوسط وكذلك قوس سعة المشرق والمغرب .



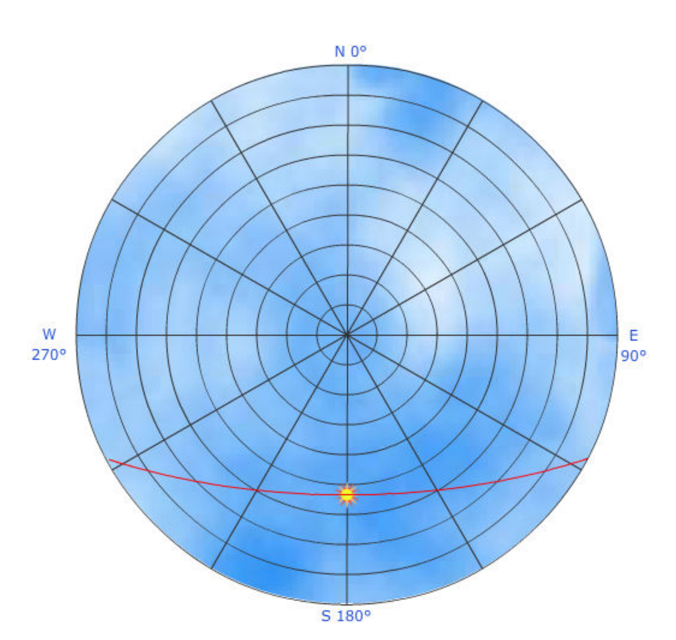
الإعتدال الربيعي $Dec = 0^\circ$



الإنقلاب الصيفي $Dec = 23.5^\circ$ N



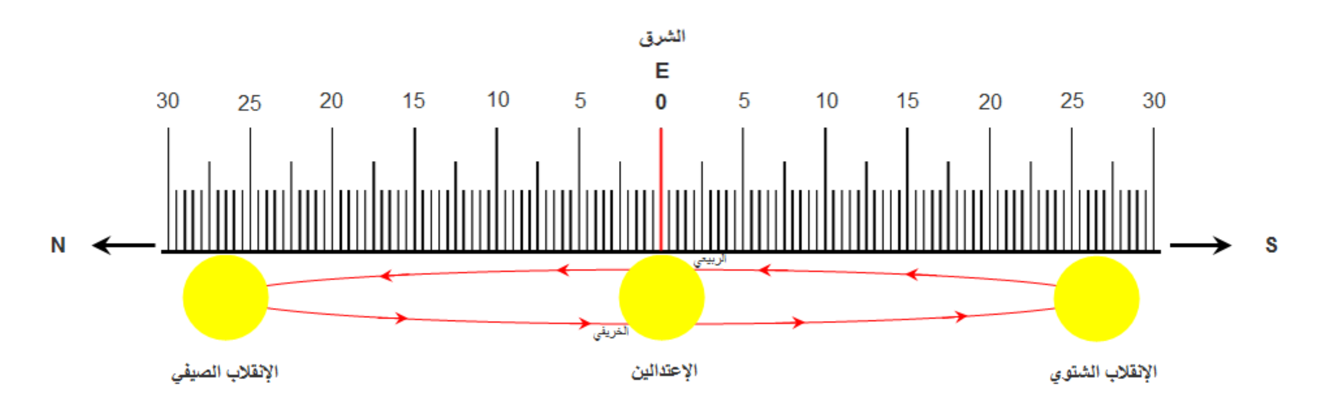
الإعتدال الخريفي $Dec = 0^\circ$



الإنقلاب الشتوي $Dec = 23.5^\circ$ S

الإعتدالين وشروق الشمس من نقطة الشرق

تتغير نقطة شروق وغروب الشمس على الأفق عند خط العرض على مدار فصول السنة بتغير درجة ميل الشمس، فعلى سبيل المثال عند خط عرض $30^{\circ}N$ ومن بعد يوم الإعتدال الربيعي حيث تتزايد قيمة الميل الشمالي، فإن مشرق الشمس ينحرف إلى الشمال تدريجياً حتى يوم الإنقلاب الصيفي، حيث تبلغ سعة المشرق أقصى قيمة لها بالنسبة لخط العرض المذكور وهي 27.34°، لتبدأ بعد ذلك بالتناقص مع تناقص قيمة الميل الشمالي إلى إن تصل عند الإعتدال الخريفي ليتكرر نفس المشهد بعد ذلك بخلاف أن مشرق الشمس ينحرف هذه المرة باتجاه الجنوب تدريجياً مع تزايد قيمة الميل الجنوبي للشمس حتى يوم الإنقلاب الشتوي، حيث تعود السعة لتبلغ أقصى قيمة لها 27.34°، وتبدأ بعد ذلك بالتناقص مع تناقص قيمة الميل الجنوبي إلى إن تعود حيث بدأت عند الإعتدال الربيعي .



ومن الناحية النظرية فإن الشمس تشرق باتجاه الشرق تماماً وتغرب باتجاه الغرب في يومي الإعتدال الربيعي والخريفي، حيث تكون قيمة السعة تساوي الصفر باعتبار إنعدام قيمة ميل الشمس عند هذين اليومين. غير أنه وبالرصد الفلكي يتبين أن هذا لا يتحقق على النحو الدقيق، ويرجع السبب في ذلك إلى عدة عوامل منها:

- يعرف وقت شروق الشمس على أنه تلك اللحظة التي تمس عندها الحافة العليا للشمس الأفق الشرقي للراصد، وليس مركزها حيث تبلغ المسافة الزاوية مابين مركز الشمس وحافتها العليا حوالي $16'$ دقيقة قوسية في المتوسط، وهي تمثل نصف قطر الشمس.

- إن وقت الإعتدال الذي تنعدم عنده قيمة ميل الشمس قد يحدث في أي وقت خلال يوم الإعتدال، ومن النادر أن يتصادف حدوثة في نفس وقت شروق الشمس بالنسبة إلى موقع الراصد، وهو وإن حدث في وقت الشروق فمن غير الممكن أن يحدث كذلك في وقت الغروب خلال اليوم الواحد، وفارق الوقت هذا كاف لتغيير قيمة ميل الشمس.

على سبيل المثال فإن الإعتدال الربيعي سنة 2014 قد حدث في تمام الساعة 16:58 غرينتش من يوم 20 مارس في حين أن شروق الشمس في دولة الكويت حدث تمام الساعة 02:52 غرينتش من نفس اليوم حيث لا تزال الشمس حينها أسفل خط الإستواء السماوي بميل جنوبي يصل إلى $13'$ دقيقة قوسية تقريباً.

- بافتراض تصادف وقت الإعتدال مع وقت شروق مركز الشمس بالنسبة إلى راصد محدد الموقع تبقى مشكلة الإنكسار التي تتسبب في ظهور مركز الشمس وشروقه عند الأفق الشرقي في الحين الذي يكون لا يزال أسفله في الحقيقة، ويقدر خطأ الإنكسار بحوالي $34'$ دقيقة قوسية في المتوسط، وذلك عند ضغط جوي 1010 ملليبار، ودرجة حرارة 10° مئوية.

ويمكن حساب مقدار إنحراف نقطة شروق الشمس (a) عن نقطة الشرق ناحية الشمال بالنسبة لخطوط العرض الشمالية وناحية الجنوب بالنسبة لخطوط العرض الجنوبية في يومي الإعتدال مع إفتراض إنعدام قيمة ميل الشمس عند وقت الشروق لراصد على مستوى سطح البحر من خلال المعادلة التالية :

$$Sin(a) = 0.015^{\circ} \times Tan(Lat)$$

وبتطبيق المعادلة يلاحظ أن مقدار الإنحراف يزيد بزيادة خط عرض الراصد حيث يبلغ $29.5'$ دقيقة قوسية عند خط عرض 30° بينما يبلغ 1.5° درجة قوسية عند خط عرض 60°. كما ويلاحظ كذلك إنعدام قيمة هذا الإنحراف عند خط الإستواء ما يعني أن إتجاه الشمس لحظة شروقها في يومي الإعتدال تحديداً لا يكون باتجاه الشرق تماماً إلا عند خط الإستواء حيث ينطبق مسار الشمس على خط الإستواء السماوي ليقطع مستوى الأفق بزاوية قائمة مع إفتراض إنعدام قيمة الميل عند لحظة الشروق، وأما بالنسبة لبقية العروض فذلك لا يتحقق في يومي الإعتدال تحديداً إنما قد يحدث في أيام أخرى مقاربة تختلف باختلاف خط العرض حيث يحدث قبل وقت الإعتدال الربيعي وبعد وقت الإعتدال الخريفي بالنسبة لخطول العرض الشمالية حين يكون للشمس قيمة معينة من الميل، ويحدث العكس بالنسبة لخطوط العرض الجنوبية.

مثال (1) : إحسب الوقت المدني الموحد للحظة توسط الشمس (وقت الزوال) بالنسبة لراصد على خط طول E "34 '49 °39 إذا علمت أن قيمة معادلة الوقت $+10^{m}\ 43^{s}$.

$LAT_{At\ Noon}$	$12^{h}\ 00^{m}\ 00^{s}$	
Eq.T	$00^{h}\ 10^{m}\ 43^{s}$	(Eq.T +) $MT < AT$
LMT	$11^{h}\ 49^{m}\ 17^{s}$	
Long	$02^{h}\ 39^{m}\ 18^{s}$	- E
GMT	$09^{h}\ 09^{m}\ 59^{s}$	
ZN	03	+ E
ZT_{Noon}	$12^{h}\ 09^{m}\ 59^{s}$	

مثال (2) : في وقت المنطقة $20^{h}\ 22^{m}$ من يوم 10 أبريل 2015 إحسب وقت توسط نجم السماك الرامح Arcturus بالنسبة لراصد على خط طول E '00 °48 ، إذا علمت أن مطلعه المستقيم يساوي $14^{h}\ 16^{m}\ 19^{s}$ ، وأن الوقت النجمي المحلي $09^{h}\ 48^{m}\ 29^{s}$.

LST	$09^{h}\ 48^{m}\ 29^{s}$	
RA	$14^{h}\ 16^{m}\ 19^{s}$	-
LHA	$-04^{h}\ 27^{m}\ 50^{s}$	قبل الزوال
÷ 1.00273791	$-04^{h}\ 27^{m}\ 06^{s}$	
ZT	$20^{h}\ 22^{m}\ 00^{s}$	
LHA	$04^{h}\ 27^{m}\ 06^{s}$	+
ZT	$24^{h}\ 49^{m}\ 06^{s}$	-24^{h}
ZT	$00^{h}\ 49^{m}\ 06^{s}$	11 April

<u>مثال (3)</u> :إحسب وقت شروق وغروب الشمس ليوم 17 يوليو 2015 في الكويت خط عرض N '15 °29 ،إذا علمت أن ميل الشمس في هذا اليوم يساوي N '13 °21 ،وأن وقت الزوال $11^{h}\ 54^{m}$ بالتوقيت المدني الموحد.

البعد السمتي لشروق وغروب الشمس	ZD	90° 50'
تمام العرض	Co.Lat	60° 45'
البعد القطبي	PD	68° 47'

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(90°50') - Cos(60°45')Cos(68°47')}{Sin(60°45')Sin(68°47')}$$

$$Cos(LHA) = \frac{-0.191374}{0.813357}$$

$$Cos(LHA) = -0.235289$$

$LHA = 103°36.5'$ ➔ $06^{h}\ 54^{m}\ 26^{s}$

ZT_{Noon}	$11^{h}\ 54^{m}\ 00^{s}$		
LHA	$06^{h}\ 54^{m}\ 26^{s}$	-	
Sun Rise	$04^{h}\ 59^{m}\ 34^{s}$		وقت الشروق

ZT_{Noon}	$11^{h}\ 54^{m}\ 00^{s}$		
LHA	$06^{h}\ 54^{m}\ 26^{s}$	+	
Sun Set	$18^{h}\ 48^{m}\ 26^{s}$		وقت الغروب

مثال (4) :إحسب وقت الشفق الفلكي المسائي ليوم 15 ديسمبر 2015 في مسقط خط عرض 23° 37' N ،إذا علمت أن ميل الشمس في هذا اليوم يساوي S '15.9 °23 ،وأن وقت الزوال $12^h\ 00^m\ 31^s$ بالتوقيت المدني الموحد.

البعد السمتي للشفق الفلكي المسائي ZD	108° 00'
تمام العرض Co.Lat	66° 23'
البعد القطبي PD	113° 15.9'

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(108°00') - Cos(66°23')Cos(113°15.9')}{Sin(66°23')Sin(113°15.9')}$$

$$Cos(LHA) = \frac{-0.150780}{0.841744}$$

$$Cos(LHA) = -0.179128$$

$$LHA = 100°19.1'$$

$LHA/15°$ ➔ $06^h\ 41^m\ 16^s$

ZT_{Noon}	$12^h\ 00^m\ 31^s$	
LHA	$06^h\ 41^m\ 16^s$	+
ZT	$18^h\ 41^m\ 47^s$	وقت الشفق الفلكي

مثال (5) :أوجد فرق الوقت بين الشروق النظري والمرئي للشمس ليوم 24 ديسمبر 2015 في مكة المكرمة خط عرض N '25 °21 ، إذا علمت أن ميل الشمس في هذا اليوم S '25 °23 ، وأن وقت الزوال 12^h 20^m 05^s بالتوقيت المدني الموحد.

أولا : وقت الشروق النظري

البعد السمتي لشروق الشمس النظري	ZD	90° 00'
العرض	Lat	21° 25'
الميل	Dec.	23° 25' S

$$Cos(LHA) = -Tan(Lat).Tan(Dec)$$

$$Cos(LHA) = -Tan(21°25').Tan(-23°25')$$

$$Cos(LHA) = 0.169869$$

$$LHA = 80°13.2'$$

$LHA/15°$ ➔ 05^h 20^m 52^s

ZT_{Noon}	12^h 20^m 05^s	
LHA	05^h 20^m 52^s	-
ZT	06^h 59^m 13^s	وقت الشروق النظري

ثانياُ : وقت الشروق المرئي

البعد السمتي لشروق الشمس المرئي	ZD	90° 50'
تمام العرض	Co.Lat	68° 35'
البعد القطبي	PD	113°25'

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(ZD) - Cos(Co.Lat)Cos(PD)}{Sin(Co.Lat)Sin(PD)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Cos(90°50') - Cos(68°35')Cos(113°25')}{Sin(68°35')Sin(113°25')}$$

$$Cos(LHA) = \frac{0.130571}{0.854276}$$

$$Cos(LHA) = 0.152844$$

$$LHA = 81°12.5'$$

$LHA/15°$ ➔ $05^h\ 24^m\ 50^s$

ZT_{Noon}	$12^h\ 20^m\ 05^s$	
LHA	$05^h\ 24^m\ 50^s$	-
Sun Rise	$06^h\ 55^m\ 15^s$	وقت الشروق المرئي

إذاً الفرق بين وقت الشروق النظري والمرئي للشمس يعادل $00^h\ 03^m\ 58^s$

مثال (6) : أوجد سعة المشرق للنجم Vega لحظة شروقة في الكويت خط عرض 29° 15' N ، يوم 20 مارس 2015 إذا علمت أن ميل النجم يساوي 38° 47.9′ N

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(Dec)}{Cos(Lat)}$$

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(38°47.9')}{Cos(29°15')}$$

$$Sin(Amp) = 0.718148$$

$$Amp = 45.9°$$

مثال (7) : أوجد إتجاه الشمس لحظة غروبها عند أفق الكويت خط عرض 29° 15' N ، يوم 25 فبراير 2015 إذا علمت أن ميل الشمس عند تلك اللحظة يساوي 09° 14.1' S .

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(Dec)}{Cos(Lat)}$$

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(-09°14.1')}{Cos(29°15')}$$

$$Sin(Amp) = -0.183937$$

$$Amp = 10.6°$$

$Az = 270° \pm Amp$ (+ للميل الشمالي ، - للميل الجنوبي)

$$Az = 270° - 10.6°$$

$$Az = 259.4°$$

مثال (8) :أوجد إتجاه مغرب القمر لراصد عند خط عرض N '19 °29 ،يوم 15 أغسطس 2015 إذا علمت أن ميل القمر عند تلك اللحظة يساوي N '11.1 °07 .

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(Dec)}{Cos(Lat)}$$

$$Sin(Amp) = \frac{Sin(07°11.1')}{Cos(29°19')}$$

$$Sin(Amp) = 0.143445$$

$$Amp = 8.2°$$

$$Az = 270° \pm Amp$$ (+ للميل الشمالي، - للميل الجنوبي)

$$Az = 270° + 8.2°$$

$$Az = 278.2°$$

المراجع العلمية

أولاً : المراجع العربية

- أ.د.شوقي الدلال (قناديل السماء) ، مجموعة البيان الإعلامية ، مملكة البحرين .
- قبطان/عادل أحمد مصطفى (الملاحة الفلكية) ، الشنهابي للطباعة والنشر ، الإسكندرية.
- أ.د.محمد أحمد سليمان (سباحة فضائية في آفاق علم الفلك) .
- د.علي حسن موسى (بروج السماء) ، دار دمشق للطباعة والصحافة والنشر ، دمشق .
- د.علي حسن موسى (التوقيت والتقويم) ، دار الفكر ، دمشق .
- د.محمد باسل الطائي (علم الفلك والتقاويم) ، دار النفائس ، بيروت .
- د.م.هيثم نوري (مدخل إلى جيوديزيا الأقمار الصناعية) ، الدار العربية للعلوم ، بيروت .
- أحمد محمد الأنصاري (تقويم الكواكب) ، دار العروبة للنشر والتوزيع ، الكويت .
- عبدالفتاح السيد الطوخي (السماء والأرض والفضاء) ، المكتبة الثقافية ، بيروت .
- عماد عبدالعزيز مجاهد (أطلس النجوم) ، المؤسسة العربية للدراسات والنشر ، بيروت .
- د.صالح محمد العجيري (المواقيت والقبلة قواعد وأمثلة) ، الطبعة الاولى ، مكتبة العجيري .
- د.أمين طربوش (الجغرافيا الفلكية والطرائق العملية في مراقبة الأجرام) ، دار الفكر ، دمشق .
- حامد أحمد صالح (المباديء الفلكية والبوصلات الشمسية) ، المطبعة الأميرية ، القاهرة .
- د.علي عبنده ، د.عبدالقادر عابد (السماء في الليل) ، دار الفرقان للنشر والتوزيع ، عمّان.
- م.محمد شوكت عوده (بحث/حساب مواقيت الصلاة) ، المشروع الإسلامي لرصد الأهلة .
- عبد الأمير المؤمن (قاموس دار العلم الفلكي) ، دار العلم للملايين ، بيروت.

ثانياً : المراجع الأجنبية

- Astronomical Algorithms by Jean Meeus (2nd edition, December 1998, Willmann-Bell, Inc) .

- Astronomical Formulae for Calculators by Jean Meeus (4th edition,1988, Willmann-Bell) .

- Astronomical Almanac for the Year 2014 by Nautical Almanac Office (U.S.), Annual edition .

- Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac by US Naval Observatory & University of Virginia .

- Practical Astronomy with Your Calculator by Peter Duffett Smith , Cambridge University Press; 3 edition (March 31, 1988).

- Mathematical Astronomy Morsels V by Jean Meeus, Willmann-Bell, Inc, USA .

- Textbook on Spherical Astronomy by W. M. Smart (Sixth edition, results by R. M. Green) .

- A Treatise on Spherical Trigonometry by John Casey, Merchant Books.

- Spherical Trigonometry: For the Use of Colleges and Schools by I. Todhunter, Fifth edition.

- Celestial Navigation in a Nutshell by Hewitt Schlereth, Sheridan House, (July 15, 2000).

- Nautical Almanac (2014 & 2015) by US Naval Observatory,UK Hydrographic.

محتويات الكتاب

الموضـوع	الصفحة
مقدمة	3

الفصل الأول

جغرافيا الكرة السماوية

الموضوع	الصفحة
الكرة السماوية	9
الأقطاب السماوية	9
خط الإستواء السماوي	10
دائرة الزوال السماوية	10
موازيات الميل	11
السمت والنظير	11
دائرة الأفق	12
الدائرة الرأسية	12
موازيات الإرتفاع	13
دائرة زوال الراصد	13
الدائرة الرأسية الرئيسية	14
نقاط الإتجاهات الأصلية	14
الدائرة الرأسية الأولى	15
الزاوية السمتية	15
الميـل	16
البعد القطبي	16
إرتفاع الجرم السماوي	17
البعد السمتي للجرم السماوي	17
الزاوية الساعية المحلية	18
الزاوية الساعية لغرينتش	18
الدائرة السماوية	19
الطول السماوي	19
العرض السماوي	19
الزاوية الساعية النجمية	20
المطلع المستقيم	20

نظام الإحداثيات السماوية 21
الإحداثيات الأفقية 22
الإحداثيات الإستوائية 22
الإحداثيات السماوية 23
التحويل بين نظم الإحداثيات السماوية 23
الوحدات الزمنية والوحدات الزاوية 25
تحويل الزاوية السمتية 26
أمثلة وتمارين الفصل الأول 27

الفصل الثاني

الإسقاطات الفلكية

إنشاء إسقاط للكرة السماوية 33
إسقاط على دائرة الزوال 35
إسقاط على دائرة الأفق 41
أمثلة وتمارين الفصل الثاني 47

الفصل الثالث

مواقع النجوم

تمهيـد 51
قائمة الكوكبات النجمية 52
مواقع النجوم 54

الفصل الرابع

المثلث الكروي

المثلث الكروي 71
الحالة الأولى 73
الحالة الثانية 74
الحالة الثالثة 75
الحالة الرابعة 76
الحالة الخامسة 77
الحالة السادسة 78
الحالة السابعة 79

الفصل الخامس

الحركة الظاهرية للأجرام السماوية

الحركة الظاهرية اليومية للأجرام السماوية 83
عند خط الإستواء 83
عند خطوط العرض المدارية 84
عند خطوط العرض المعتدلة 85
عند خطوط العرض القطبية 86
الظواهر المصاحبة للحركة الظاهرية اليومية للأجرام 87
الشروق والغروب 87
فترة تواجد الجرم فوق الأفق 88
شروق الجرم من نقطة الشرق 89
الجرم الدوار حول القطب 90
الجرم الدوار فوق الأفق أو أسفله 91
مرور الجرم على الدائرة الرأسية الأولى 92
مرور الجرم بنقطة السمت 93
بلوغ الجرم درجة إرتفاع معينة فوق الأفق 94
بلوغ الجرم درجة إنخفاض معينة أسفل الأفق 95
بلوغ الجرم أقصى زاوية سمتية 96
العبور الزوالي للجرم السماوي 97
أمثلة وتمارين الفصل الخامس 99

الفصل السادس

التوقيت وحساب الزمن

حركة الأرض 107
وحدة قياس الزمن 109
الوقت المحلي المتوسط 113
وقت غرينتش المتوسط 113
الوقت المحلي الظاهري 114
وقت غرينتش الظاهري 114
معادلة الوقت 115
وقت المنطقة 121

خط التاريخ الدولي 124
الوقت القياسي 124
التوقيت الصيفي 125
حساب الوقت الشمسي 125
الوقت النجمي المحلي 126
الوقت النجمي لغرينتش 126
الوقت النجمي والوقت الشمسي 129
تعيين الوقت النجمي 130
الميل الكلي 131
الطول السماوي للشمس 131
ميل الشمس 131
أمثلة وتمارين الفصل السادس 132

الفصل السابع

تطبيقات على المثلث الكروي

معرفة الوقت بدلالة الإرتفاع 147
معرفة الإرتفاع بدلالة الوقت 151
معرفة الزاوية السمتية بدلالة الإرتفاع 154
معرفة الإرتفاع بدلالة الزاوية السمتية 156
معرفة الوقت بدلالة الزاوية السمتية 160
معرفة الزاوية السمتية بدلالة الوقت 165
معرفة الميل بدلالة الإرتفاع 168
معرفة إرتفاع الجرم لحظة عبوره الدائرة الرأسية الأولى 173
معرفة وقت الإستطالة العظمى 175

الفصل الثامن

الشروق والغروب والتوسط

التوسط 181
الشروق والغروب 183
طول قوس الظهور 187
الإعتدالين وتساوي النهار والليل 191
الشفق 194
طول فترة الشفق 197

سعة المشرق والمغرب 199
الإعتدالين وشروق الشمس من نقطة الشرق 201
أمثلة وتمارين الفصل الثامن 203
المراجع العلمية 210

Ahmad Mohammad AL-Ansari
P.O. Box: 521
C/O: 83001 ,Khaitan
Kuwait